

Rapport CDV – TNO – NLR

Rapportnummer TNO:

IS-RPT-060017

Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid
Postbus 90771
2509 LT Den Haag
www.vliegtuiggeluid.nl

TNO Industrie en Techniek
Schoemakerstraat 97
Postbus 6030
2600 JA Delft
www.tno.nl

NLR - Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
Anthony Fokkerweg 2
Postbus 90502
1006 BM Amsterdam
www.nlr.nl

Onderzoek naar verschillen tussen gemeten en berekend vliegtuiggeluid

Datum

januari 2006

Auteur(s)

ir. A.R. Eisses (CDV)

ir. J. Golliard (TNO)

ir. A. Mast (TNO)

dr. ir. P. Balke (NLR)

Projectnummer TNO

008.05032

Dit rapport is opgesteld door de Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV) in samenwerking met de Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) en het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR).

© 2006 TNO – NLR

Onderzoek naar verschillen tussen gemeten en berekend vliegtuiggeluid

Het onderzoek is uitgevoerd door de Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV) in samenwerking met TNO en het NLR, in het kader van de opdracht aan de CDV om de overheid te adviseren over mogelijkheden voor het meten van vliegtuiggeluid ten behoeve van de handhaving.

Inhoud

1.	Inleiding	7
1.1	Opdracht Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV)	7
1.2	Opzet van het onderzoek	7
1.3	Opbouw van het rapport	9
2.	Meet- en rekenmethoden	11
2.1	Het meetsysteem NOMOS	11
2.2	Het meetsysteem Luistervink	13
2.3	Metingen CDV onder toezicht	14
2.4	Berekeningen	15
3.	Resultaten van vergelijkingen	21
3.1	NOMOS (2002) in vergelijking met FANOMOS	21
3.1.1	Koppeling van meetresultaten en rekenuitkomsten	
3.1.2	Verschillen per dag	
3.1.3	Verschillen per jaar (geluidbelasting L_{den})	
3.2	Metingen CDV (2005) in vergelijking met FANOMOS	31
3.2.1	Meetlocatie Rijssenhout	
3.2.2	Meetlocatie Haarlemmerliede	
3.2.3	Meetlocatie Heemskerk	
3.2.4	Meetlocatie Saarnadam	
3.2.5	Meetlocatie Rijswijk	
3.3	NOMOS (2002) en metingen CDV (2005) in vergelijking met INM	37
3.4	Luistervink (2002) in vergelijking met FANOMOS	39
3.5	Proefmetingen CROS (2005) in vergelijking met FANOMOS	41

4.	Oorzaken van verschillen tussen metingen en berekeningen	43
4.1	Algemeen	43
4.2	Meetnauwkeurigheid	43
4.2.1	Onbemande meetsystemen en metingen onder toezicht	
4.2.2	Stoorgeluid als gevolg van wind	
4.3	Invloed van de meetopstelling	50
4.3.1	Metingen onder toezicht	
4.3.2	NOMOS en Luistervink	
4.4	Gemodelleerde vliegprocedures en vliegtuigcondities	52
4.4.1	Model en werkelijkheid	
4.4.2	Vlieghoogte bij NOMOS-metposten 1 en 2	
4.4.3	Vlieghoogte bij metingen in Rijswijk	
4.4.4	Vlieghoogte van starts en landingen bij NOMOS-metposten 12 en 16	
4.4.5	Stuwkracht kort voor de landing	
4.5	Geluidtabellen en vliegtuigcategorieën	63
4.6	Weersomstandigheden en laterale geluidverzwakking	65
4.7	Richtingsafhankelijke geluiduitstraling van vliegtuigen	66
5.	Conclusies	71
Bijlage A: Bepaling van de geluidbelasting uit de geluidniveaus van vliegtuigpassages		
Bijlage B: Geluidmetingen CDV op vijf locaties		
Bijlage C: Bijdragen van vliegtuigcategorieën tot de geluidbelasting L_{den} bij de NOMOS-metpunten		

(blanco)

1 Inleiding

1.1 Opdracht Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV)

De Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV) heeft tot taak om voorstellen te formuleren voor het gebruik van geluidmetingen voor de handhaving van de geluidbelasting van het vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol, al dan niet in combinatie met berekening van de geluidbelasting. Binnen dit kader voert de commissie onderzoek uit naar de rol die geluidmetingen kunnen spelen bij de handhaving. De commissie heeft daarvoor een aantal mogelijkheden gegeven, die ruwweg zijn op te splitsen in twee alternatieven:

- het direct meten van de geluidbelasting of
- het uitvoeren van metingen ten behoeve van de ijking, verbetering of controle van een rekenmodel.

Vooraf bij de tweede mogelijkheid is het van belang om inzicht te hebben in de verschillen die optreden tussen de resultaten van metingen en berekeningen met het op dit moment voor de handhaving gebruikte rekenmodel. Het berekenen van de geluidbelasting zal overigens altijd noodzakelijk blijven, ook wanneer voor de eerste mogelijkheid wordt gekozen en de geluidbelasting voor de handhaving direct in de handhavingspunten gemeten zou worden. De EU-richtlijn voor de harmonisering van in Europa gehanteerde geluidbelastingsmaten vereist bijvoorbeeld dat de lidstaten het geluid van weg-, rail- en luchtverkeer door middel van contouren in kaart brengen en contouren kunnen nu eenmaal niet alleen met metingen worden bepaald. Verschillen tussen het geluid dat wordt gemeten en het geluid dat voor het maken van contouren wordt berekend zijn daarbij ongewenst. Dus ook indien rekenen voor de handhaving niet meer noodzakelijk zou zijn, blijft het van belang de verschillen tussen meten en rekenen en de oorzaken daarvan in beeld te brengen.

Met dit doel hebben de CDV, TNO en NLR het in dit rapport beschreven onderzoek uitgevoerd. De luchthaven Schiphol (AAS), de Commissie Regionaal Overleg Schiphol (CROS) en Geluidconsult BV hebben gegevens voor het onderzoek ter beschikking gesteld.

1.2 Opzet van het onderzoek

Voor het onderzoek is in eerste instantie gebruik gemaakt van de resultaten van 20 meetposten van het rond Schiphol opgestelde meetsysteem NOMOS en één meetpost van het type ‘Luistervink’, voor een volledig gebruiksjaar van 1 november 2001 tot en met 31 oktober 2002 (gebruiksjaar 2002). Deze

resultaten zijn vergeleken met uitkomsten van het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid op basis van FANOMOS, dat voor de handhaving van de geluidbelasting wordt gebruikt.

Omdat bij een geautomatiseerd meetsysteem (zoals NOMOS of Luistervink) nooit volledig zekerheid is over de mate waarin andere geluidbronnen dan vliegtuigen de meetresultaten hebben beïnvloed, zijn ook metingen onder toezicht uitgevoerd. Ook hiervan zijn de resultaten vergeleken met rekenuitkomsten van FANOMOS en (voor één meetlocatie) ook met resultaten van het in de VS gebruikte rekenmodel INM (*Integrated Noise Model*).

Naar de verschillen tussen de resultaten van berekend en gemeten geluid van vliegtuigen is in Nederland al eerder onderzoek uitgevoerd: in 1995 (DLR)¹, 1997 (NLR)², 2000 (NLR)³, 2003/2004 (TNO/To70)⁴ en 2005 (CROS/RIVM)⁵. Het NLR heeft in 2000 voor 20 NOMOS-metposten de gemeten, energetisch gesommeerde geluidniveaus (L_{den} per maand) vergeleken met resultaten van berekeningen. Daarbij zijn de gemeten en berekende niveaus niet op precies dezelfde verzameling van vliegbewegingen gebaseerd, omdat in het algemeen veel meer vluchten in de berekeningen worden meegenomen, dan er gemeten kunnen worden. Bij het onderzoek van TNO in 2004, uitgevoerd voor één locatie dichtbij de landingsbaan en één locatie dichtbij de startbaan, is een koppeling gemaakt tussen het berekende en gemeten geluidniveau per vlucht.

Deze aanpak is ook gevolgd bij het in dit rapport beschreven onderzoek. Bij de vergelijking tussen resultaten van NOMOS en FANOMOS is binnen de gegevensbestanden van NOMOS, Luistervink en FANOMOS eerst gezocht naar het met elkaar corresponderende gemeten en berekende geluidniveau van iedere vliegbeweging. De analyse van de verschillen (bijvoorbeeld per dag, maand of jaar) kan dan zodanig worden uitgevoerd dat de hierin meegenomen berekende en gemeten waarden betrekking hebben op precies dezelfde vliegbewegingen.

¹ *An Investigation on the Differences between Noise Measurements and Calculations performed at Amsterdam Schiphol Airport for 1992* - DLR Institut für Strömungsmechanik Göttingen, May 1995.

² *Vergelijking van gemeten en berekende geluidniveaus* - NLR-rapport CR 97263L.

³ *Vergelijking van berekende en gemeten geluidbelasting L_{den} rondom de luchthaven Amsterdam Airport Schiphol (AAS) voor het gebruiksplanjaar 1999* - NLR-rapport CR-2000-647, december 2000.

⁴ *Vergelijking van berekende en gemeten geluidniveaus van vliegtuigen nabij de start- en landingsbanen van Schiphol* - TNO-rapport DGT-RPT-040003, januari 2004.

⁵ *Praktijkmogelijkheden geluidmetingen luchtvaart in het buitengebied van Schiphol* – RIVM-rapport 680001001/2005.

1.3 Opbouw van het rapport

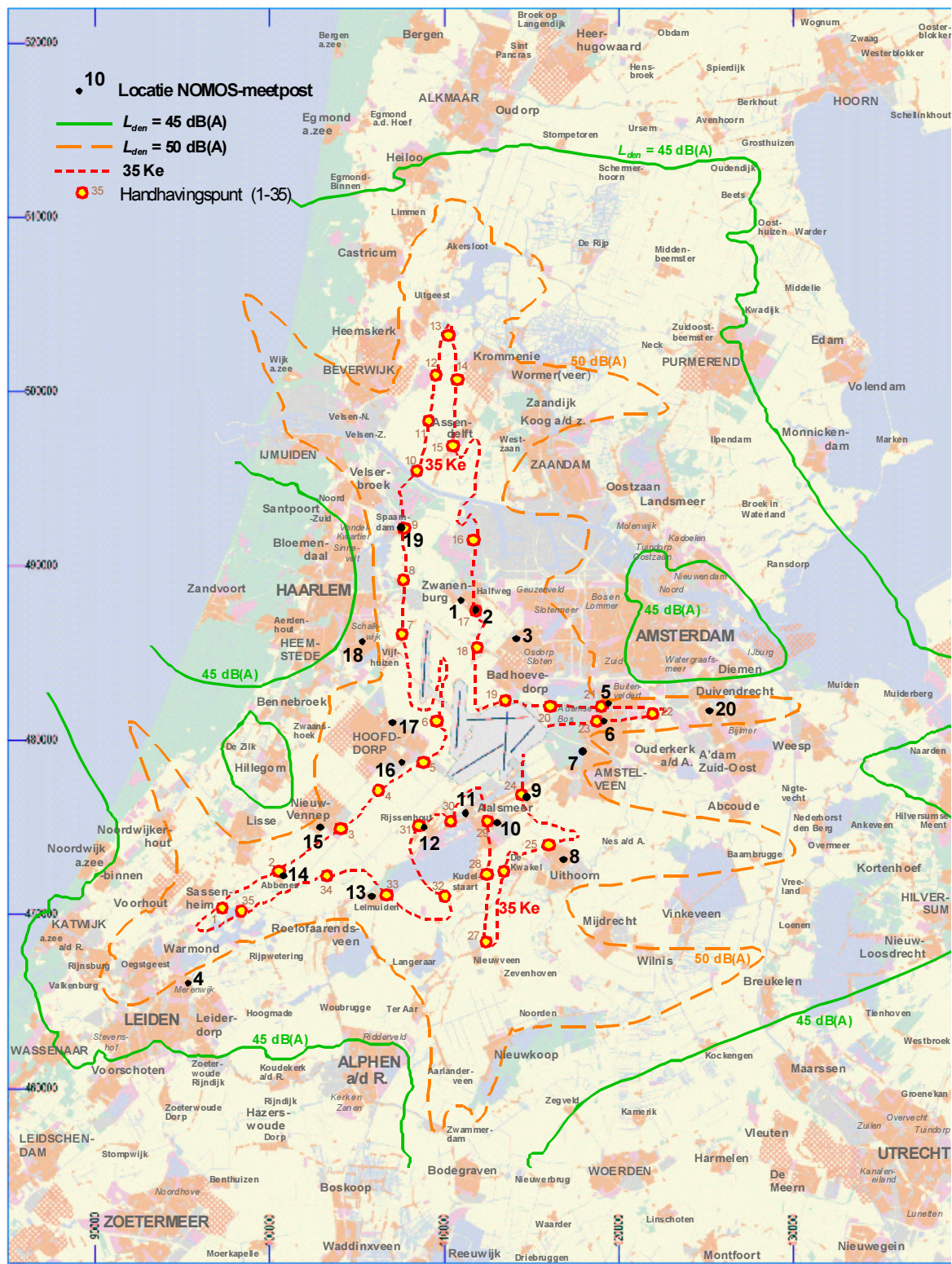
Het vervolg van dit rapport begint met een beknopte beschrijving van de meet- en rekenmethoden, waarvan de resultaten voor dit onderzoek zijn gebruikt (hoofdstuk 2).

Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de uitkomsten van de uitgevoerde vergelijkingen tussen:

- a) resultaten van het NOMOS-meetsysteem over gebruiksjaar 2002 en van berekeningen met het Nederlandse rekenmodel (FANOMOS);
- b) resultaten van metingen op vijf door de CDV gekozen locaties, uitgevoerd onder toezicht gedurende een aantal meetdagen in 2005 en uitkomsten van berekeningen (FANOMOS);
- c) resultaten van bovengenoemde metingen voor de locatie Rijssenhout en van het rekenmodel INM;
- d) resultaten van de Luistervink-meetpost Assendelft uit 2002 en van berekeningen (FANOMOS).

In hoofdstuk 3 is ook een samenvatting opgenomen van resultaten van het recente onderzoek naar “praktijkmogelijkheden geluidmetingen luchtvaart in het buitengebied van Schiphol”, uitgevoerd in opdracht van de CROS (Commissie Regionaal Overleg Schiphol) door het RIVM, in samenwerking met TNO en NLR.

Daarna volgt in hoofdstuk 4 de analyse van de verschillen tussen resultaten van metingen en berekeningen, waaruit de belangrijkste oorzaken van de verschillen naar voren komen.



Figuur 2.1: Omgeving van Schiphol met de ligging van de 20 meetposten van het NOMOS-meetstelsel in 2002. (De weergegeven geluidcontouren hebben betrekking op het 'grenswaardescenario', waarmee de grenswaarden in de handhavingspunten zijn vastgesteld.)

2 Meet- en rekenmethoden

2.1 Het meetsysteem NOMOS

Het vliegtuiggeluid rond Schiphol wordt al geruime tijd gemeten. De luchthaven zelf beschikt sinds 1970 over een onbemand meetsysteem, dat is opgezet voor het meten van het geluid van vliegtuigen in woongebieden. Het huidige systeem van de luchthaven is bekend onder de naam NOMOS (*Noise Monitoring System*) en heeft 24 meetposten. In figuur 2.1 en onderstaande tabel zijn 20 meetposten aangegeven die in 2002 in bedrijf waren en waarvan de gegevens voor het onderzoek zijn gebruikt.

nummer meetpost	plaats en adres
1	Zwanenburg Kuyperlaan 30
2	Zwanenburg Olmenlaan 75
3	Amsterdam Osdorp Langswater 903
4	Leiden Regenboogpad 7
5	A'dam Buitenveldert Zwaansvliet 5
6	Amstelveen Goereesepad 1-127
7	Amstelveen Laan Nieuwer Amstel 1
8	Uithoorn Merodelaan 2
9	Aalsmeer Beatrixstraat 10
10	Aalsmeer Clusiusstraat 23
11	Aalsmeer Praamplein 44
12	Rijsenhout Vliegende Hollanderstraat 3
13	Leimuiden De Rietlanden 51-53
14	Abbenes Hoofdweg 1730
15	Nieuw Vennep Vronen 47
16	Hoofddorp Graan voor Visch 14616
17	Hoofddorp Landleeuw 37
18	Haarlem J. van Zutphenstraat 100-314
19	Spaarndam Kuyperstraat 40
20	Amsterdam Zuid-Oost Dubbelink 1

Tabel 2.1: NOMOS-meetposten in 2002 (zie ook figuur 2.1).

De microfoons van de NOMOS-posten zijn opgesteld op een verticale mast die op de grond of op een dak van een gebouw staat. Om de invloed van het tegen de bodem of het dak gereflecteerde geluid te beperken, is gekozen voor een masthoogte van 10 meter op de grond en 6 meter op een dak.

NOMOS maakt gebruik van apparatuur die aan hoge kwaliteitseisen voldoet. Het totale geluid dat op een bepaald moment op een bepaald punt wordt gemeten is daardoor zeer nauwkeurig. Maar belangrijker is de nauwkeurigheid van het gemeten vliegtuiggeluid, dat uit het totale geluid moet worden gefilterd. Bij NOMOS berust deze ‘filtering’ voor een belangrijk deel op radargegevens. Het systeem registreert een *event* wanneer het geluidniveau gedurende een bepaalde tijd boven het achtergrondgeluid uitstijgt en het verloop van het geluidniveau als functie van de tijd zodanig is dat een vliegtuig daarvan de oorzaak kan zijn. Per meetpost is een drempelwaarde – dat wil zeggen een geluidniveau waaronder niet wordt gemeten – ingesteld, die gekozen wordt aan de hand van de aard en het niveau van het achtergrondgeluid ter plaatse en de te verwachten niveaus van vliegtuigpassages. Die drempelwaarde varieert van meetpost tot meetpost van ongeveer 60 tot 65 dB(A). Om geluid aan een vliegbeweging te kunnen toekennen, moet de drempelwaarde gedurende een bepaalde tijd worden overschreden. Als uit de radargegevens blijkt dat een vliegtuig zich op het moment van de meting binnen een straal van 2,5 tot 4 km rond de meetpost bevindt (de exacte waarde verschilt per meetpost), wordt het geregistreerde geluidniveau aan de betreffende vlucht toegeschreven.

Zolang het meetsysteem geen vliegtuiggeluid herkent, wordt het gemeten geluid genegeerd. Bij herkenning van vliegtuiggeluid bepaalt het systeem de tijdstippen waartussen het vliegtuiggeluid aanwezig is (vanaf het moment van aanzwellen van het geluid tot het moment dat het geluid weer is weggestorven) en wordt het tussen die tijdstippen gemeten geluid aangemerkt als bijdrage aan de geluidbelasting door vliegverkeer. Het onderscheid tussen het geluid van vliegtuigen en andere geluidbronnen is daarmee relatief eenvoudig, zolang deze geluiden niet tegelijkertijd optreden. Moeilijker is het als een vliegtuig en andere geluidbronnen, bijvoorbeeld wegverkeer, tegelijkertijd door een meetpost worden gemeten. (Dat geldt voor alle meetsystemen, dus niet alleen voor NOMOS.) Om dan te bepalen hoeveel geluid het vliegtuig afzonderlijk veroorzaakt, zouden de geluidniveaus van de verschillende bronnen gescheiden moeten worden. Anders bestaat het risico dat

- het vliegtuiggeluid niet als zodanig wordt herkend, waardoor er te weinig vliegtuiggeluid wordt gemeten of
- het totale geluid – inclusief bijdragen van andere geluidbronnen – alleen aan het vliegtuig wordt toegeschreven, waarmee het vliegtuiggeluid wordt overschat.

Het is niet mogelijk in algemene zin aan te geven hoe nauwkeurig het door een meetsysteem geregistreerde vliegtuiggeluid is. Dit is afhankelijk van de aard, het niveau en de variaties van het geluid van andere geluidbronnen en de mate waarin het geluid van passerende vliegtuigen hierboven uitstijgt.

2.2 Het meetsysteem Luistervink

Naast het NOMOS-systeem is er ook het meetnet van ‘Luistervink’, dat bestaat uit meetposten die eigendom zijn van gemeenten. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens van de meetpost in Assendelft. (Er zijn ook meetposten in Amsterdam-Buitenveldert, Krommenie, Velsen en Amstelveen.) Het bedrijf Geluidconsult BV (vóór augustus 2005 bekend als OMEGAM) heeft het systeem ontwikkeld.

De microfoon van het nieuwe type meetpost (dat sinds 2004 in gebruik is) ligt in een behuizing met een oppervlak van 2,5 bij 2,5 meter en een hoogte van ongeveer 0,6 meter. Bij alle meetposten ligt deze behuizing op een plat dak van een gebouw. De behuizing is gevuld met geluidabsorberend materiaal en is aan de bovenzijde voorzien van gaasdoek, waarmee de invloed van windgeruis wordt onderdrukt. De behuizing heeft tevens tot doel de reflectie van geluid tegen de ondergrond (het dak) te elimineren en het stoorgeluid afkomstig van geluidbronnen beneden het meetpunt af te schermen. Bij de oudere meetposten (waaronder die in Assendelft) zijn de microfoons met windbol zonder behuizing op een statief van ongeveer 2 m hoogte op daken van gebouwen opgesteld. De oudere meetposten hebben een windsnelheidsmeter om te detecteren wanneer meetresultaten als gevolg van harde wind onbetrouwbaar zijn.

Luistervink is ontwikkeld om het geluid van vliegtuigen onafhankelijk van gegevens van de luchthaven te kunnen meten. Daarom is het systeem niet direct gekoppeld aan vlucht- en radargegevens van Schiphol en is het op andere methoden aangewezen om het onderscheid tussen *events* veroorzaakt door vliegtuigen en door andere geluidbronnen te kunnen maken. Dit gebeurt in de eerste plaats op basis van de tijdsduur van het *event*, de verhouding tussen het maximale en het gemiddelde geluidniveau gedurende het *event*, de minimale tijdsduur tussen vliegtuigpassages en de stijgtijd van het geluidniveau. Daarnaast beschikken de oudere meetposten (waaronder Assendelft) over een radio-scanner, om de radiosignalen van vliegtuigen op te vangen en daarmee te controleren of een verhoging van het geluidniveau door een vliegtuig kan zijn veroorzaakt.

Het in de vorige paragraaf aangegeven probleem van het onderscheiden van vliegtuiggeluid van overige geluidbronnen speelt voor alle meetsystemen, dus ook voor Luistervink. Door de opstelling van de microfoon in de bovengenoemde behuizing hebben de nieuwe meetposten wel minder last van stoorgeluid door wind en door geluidbronnen op de grond in de buurt van de meetpost. Bovendien zijn de nieuwe meetposten uitgerust met een recentelijk ontwikkeld geluidherkenningsysteem op basis van software, “Cochlea” genoemd. Met deze software is te identificeren of het gemeten geluid afkomstig is van een vliegtuig of van een andere geluidbron en wordt de kans verkleind

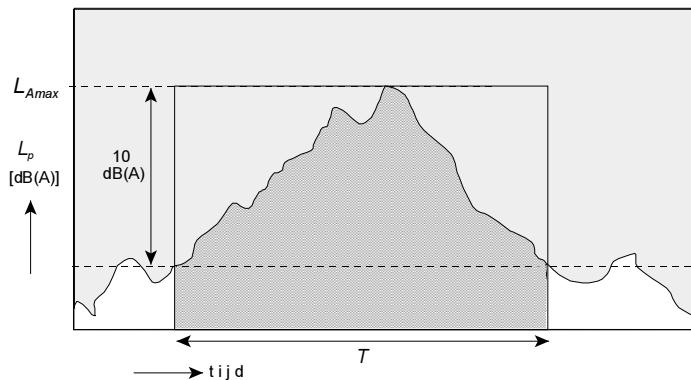
dat een andere geluidbron dan een vliegtuig de belangrijkste veroorzaker was van een aan een vliegtuig toegeschreven geluidniveau. De meetpost in Assendelft, waarvan de resultaten uit gebruiksjaar 2002 voor het onderzoek zijn gebruikt, is van het oude type en beschikt niet over deze software.

2.3 Metingen CDV onder toezicht

TNO heeft in opdracht van de CDV metingen uitgevoerd gedurende een aantal meetdagen op 5 locaties: in Rijssenhout (nabij NOMOS-meetpost 12), Heemskerk, Spaarndam, Haarlemmerliede en Rijswijk (Zuid Holland). Om de invloed van andere geluidbronnen dan vliegtuigen op de meetresultaten te kunnen uitsluiten, zijn de metingen uitgevoerd onder voortdurend toezicht.



Figuur 2.2: Microfoon boven een harde plaat, met halve windbol.



$$L_{AX} = 10 \cdot \lg \int_T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

T = tijdsduur passage

$p(t)$ = geluiddruk als functie van de tijd t

$L_p(t)$ = geluiddruk niveau
= $10 \cdot \lg(p^2(t)/p_0^2)$ [dB]

p_0 = referentiedruk = 20 μ Pa

Figuur 2.3: Verloop van het geluidniveau tijdens een vliegtuigpassage met maximum geluidniveau L_{Amax} en geluidexpositieniveau L_{AX} .

Dit betekent dat de vliegtuigen die tijdens de metingen zijn gepasseerd, maar waarbij het gemeten geluid tijdens de passage beïnvloed is door andere geluidbronnen (of waarbij hierover twijfel bestaat), niet in het onderzoek zijn meegenomen.

De metingen zijn een uitbreiding van het onderzoek dat TNO in 2003/2004 voor het RIVM heeft uitgevoerd (TNO-rapport DGT-RPT-040003, januari 2004). Toen is gemeten op twee locaties, nabij de start- of landingsbaan; de CDV heeft 5 locaties gekozen op grotere afstand van de luchthaven.

Op elk van de 5 locaties is gemeten met twee microfoons. Microfoon 1 is opgesteld boven een harde plaat van ongeveer $1,5 \text{ m}^2$, met het membraan van de microfoon naar beneden gericht op een afstand van 5 mm van de plaat. Zie figuur 2.2. Voor deze meetmethode is gekozen om de invloed van de bodem te normaliseren. De meetresultaten zijn dan (binnen zekere randvoorwaarden) niet afhankelijk van het type bodem en de conditie van de bodem ter plaatse. De tweede microfoon is opgesteld op een statief met een hoogte van 1,5 m boven de grond.

Tijdens de metingen is tevens, voor zover mogelijk, gedurende de passage van een vliegtuig de positie op een aantal punten langs het vliegpad handmatig vastgesteld met behulp van een laser-afstandsmeter en GPS. Hiermee kan het vliegpad bij benadering door rechte lijnstukken worden gereconstrueerd.

Meer gegevens over de metingen en de meetlocaties zijn opgenomen in bijlage B.

2.4 Berekeningen

Het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid is gebaseerd op de methode die in de jaren 80 bij wet is vastgelegd. Deze methode is destijds opgezet voor het berekenen van maximale geluidniveaus (L_{Amax}) van alle vliegtuigpassages afzonderlijk in een bepaald punt, die in dat punt de geluidbelasting in Kosten-eenheden (Ke) opleveren. Nu wordt het model gebruikt voor de berekening van de geluidmaten L_{den} en L_{night} , waarvoor gedurende de tijdsduur van elke vliegtuigpassage het geluidexpositieniveau L_{AX} moet worden bepaald, zoals aangegeven in figuur 2.3. Het principe van de rekenmethode is daarbij ongewijzigd gebleven. Informatie over de berekening van de geluidbelasting uit de geluidniveaus van vliegtuigpassages is opgenomen in bijlage A.

In het rekenvoorschrift is vastgelegd dat gebruik moet worden gemaakt van de geluid- en prestatiegegevens in de appendices bij het voorschrift. Een bij een vliegtuigtype horende set gegevens bestaat uit een geluidtabel en een aantal prestatietabellen. De geluid- of NPD-tabel (Noise-Power-Distance) geeft het

geluidniveau op de grond als functie van de motorregeling en de afstand tot het vliegtuig. Een prestatietabel geeft als functie van de afgelegde weg tot de start- of landingsbaan aan welke motorregeling is ingesteld en wat de vlieghoogte is. Bij een vliegtuigtype horen verschillende prestatietabellen, omdat deze laatste gegevens ook afhangen van de gevolgde start- of landingsprocedure en de bestemming.

Het NLR heeft de berekeningen uitgevoerd op basis van de door de FANOMOS-radar geregistreerde grondpaden van de vliegbewegingen en de RD-coördinaten van de meetposten of de met GPS vastgelegde microfoonposities. FANOMOS legt ook het hoogteverloop van het vliegpad vast, maar in de berekeningen wordt (conform het voorschrift) niet van de gemeten hoogte gebruik gemaakt, maar van de vlieghoogte volgens de prestatietabellen⁶.

gewichtscategorie	massa (MTOW) [10 ³ kg]	geluidklasse			
		1	2	3	4
1	6 – 15	jetstream 31	jetstream 31	jetstream 31	jetstream 31
2	15 – 40	F28	F-27	F-100	F-100 – 3 dB
3	40 – 60	B737-200	DC-9-30 – 3 dB	B737-300 HWFAP	BAe 146-200
4	60 – 100	B727-200	B737-300	B737-300 HWFAP	MD-90
5	100 – 160	DC-8-63	A310-203 + 3 dB	A310-203	B757-200
6	160 – 230	DC-8-63	B767-300ER + 3 dB	B767-300ER	
7	230 – 300	DC-10-30 + 3 dB(A)	DC-10-30	DC-10-30 – 3 dB(A)	B777-200
8	300 – 400	B747-200B	B747-300	B747-400	B777-300ER

Tabel 2.2: *Vliegtuigcategorieën met representatieve vliegtuigtypen.*

⁶ Gegevens over de werkelijke vlieghoogte (per vlucht vastgelegd met radar) zijn wel beschikbaar, maar het verloop van vlieghoogte en motorregeling (als functie van de afgelegde weg) hangen nauw met elkaar samen, zodat beide gegevens langs dezelfde weg moeten worden verkregen. Anders zou het rekenmodel worden gevoed met niet bij elkaar passende combinaties van invoergegevens.

Vliegtuigen zijn op basis van gewicht en geluidproductie⁷ gegroepeerd in vliegtuigcategorieën, die worden gerepresenteerd door bepaalde vliegtuigtypen. De acht gewichtscategorieën⁸ en vier geluidklassen (klasse 1 bevat de meest lawaaiige, klasse 4 de stilste vliegtuigen) leveren totaal 32 vliegtuigcategorieën met elk een representatief type vliegtuig. Tabel 2.2 geeft een overzicht.

In dit rapport wordt een vliegtuigcategorie aangeduid met de letter ‘S’ (staat voor ‘Schiphol’), gevolgd door het nummer van de gewichtscategorie en het nummer van de geluidklasse. S23 is dus de vliegtuigcategorie met gewichtscategorie 2 en geluidklasse 3, die wordt gerepresenteerd door het vliegtuigtype Fokker 100. Alle andere vliegtuigtypen die tot deze categorie behoren produceren volgens het rekenmodel bij gelijke stuwkracht dezelfde geluid-niveaus als de Fokker 100.

Per vlucht afzonderlijk zijn de geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} berekend. Deze niveaus zijn gekoppeld aan de vluchtgegevens, zoals het *call sign* (vluchtnummer en luchtvaartmaatschappij), datum, actuele tijdstip van aankomst of vertrek, vliegtuigtype (ICAO-code), start- of landingsbaan, route-aanduiding, vliegtuigcategorie en vliegprocedure.

Zoals in ieder rekenmodel, zijn ook in het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid benaderingen of modelleringen van de werkelijkheid aangenomen. Deze modelleringen zijn nodig zijn om het rekenproces hanteerbaar te houden. Tegenwoordig gaat het daarbij niet meer zo zeer om de reken-snelheid van de computers, maar meer om de beschikbaarheid van de exacte gegevens over de werkelijke situatie⁹. Als die gegevens niet beschikbaar zijn, kan het rekenmodel daarmee niet worden gevoed en moeten modelleringen worden gemaakt. De vier belangrijkste zijn hieronder aangegeven.

a) De omgeving van het waarneempunt

Het berekende geluid heeft betrekking op een punt op 1,2 tot 1,9 m hoogte boven een vlakke, met gras begroeide bodem (“zand- of bouwgrond begroeid met gras tot ca. 20 cm hoog”, aldus de toelichting bij het rekenmodel) in een onbebouwde omgeving. Als het geluid zich in werkelijkheid langs een ander type bodem voortplant (met andere akoestische eigenschappen, zoals bijvoorbeeld water), ontstaat hierdoor een afwijking tussen het berekende en het in werkelijkheid optredende geluid. Hetzelfde geldt in

⁷ De geluidproductie wordt vastgesteld door gecertificeerde geluidmetingen volgens de internationaal vastgestelde meetmethode in ICAO-Annex 16.

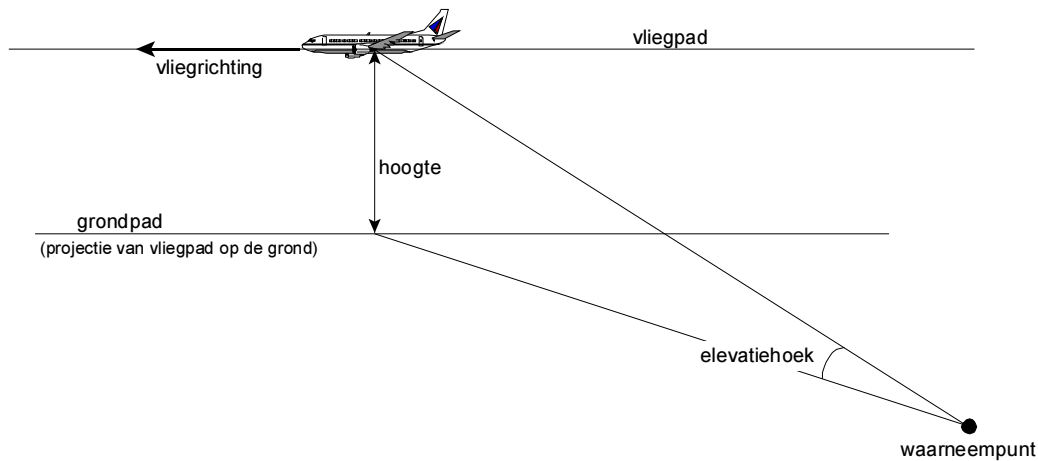
⁸ Gewichtscategorie 9, meer dan 400 ton, komt op Schiphol (nog) niet voor.

⁹ Het verkrijgen van gegevens over het door een vliegtuig uitgestraalde geluid tijdens operationele omstandigheden, op elk moment tijdens een specifieke vlucht en in verschillende richtingen, vereist een grote inspanning. Een methode hiervoor is beschreven in rapport HAG-RPT-010047 van TNO en NLR (NLR-CR-2001-277).

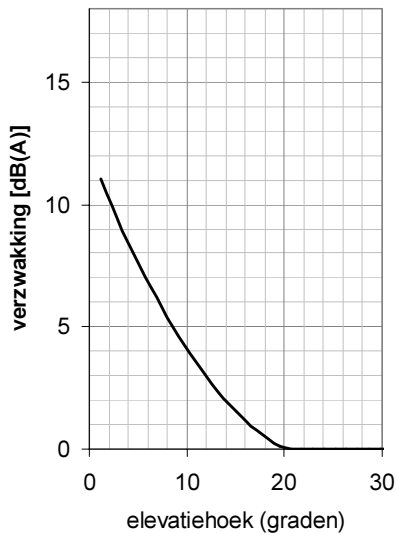
situaties waar bebouwing invloed heeft, door afscherming of reflectie van geluid.

b) De indeling van vliegtuigtypen in categorieën

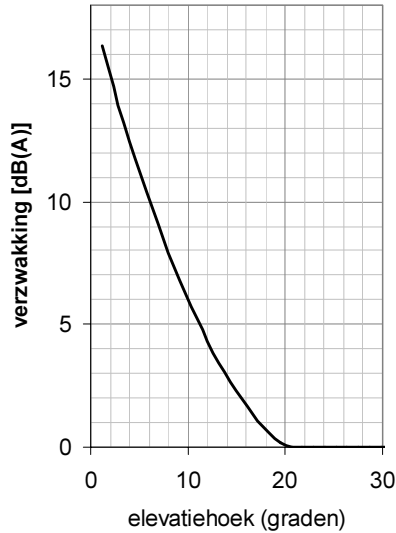
Niet van alle vliegtuigtypen zijn de prestatie- en geluidtabellen beschikbaar. De indeling in vliegtuigcategorieën betekent dat de berekening voor een bepaald type vliegtuig niet altijd wordt uitgevoerd met de gegevens die op dat type betrekking hebben, maar met de gegevens van de akoestische representant van de categorie waartoe het behoort.



horizontale afstand tot vliegpad 1000 m



horizontale afstand tot vliegpad 3000 m



Figuur 2.4: Invloed van de bodem op de geluidoverdracht volgens het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid bij twee verschillende afstanden tot het vliegtuig, afhankelijk van de elevatiehoek.

c) De prestatietabellen

Hierboven is al aangegeven dat bij het bepalen van de geluidproductie en de hoogte van een vliegtuig op een bepaald punt op het vliegpunt niet gebruik wordt gemaakt van de werkelijke gegevens van het specifieke vliegtuig (zoals worden vastgelegd in de *flight data recorder*), maar van gemodelleerde profielen. Het is natuurlijk de bedoeling dat het gemiddelde over veel vluchten overeenkomt met het profiel dat voor het type vliegtuig en de vliegprocedure is gemodelleerd. Op het niveau van individuele vluchten zijn er echter afwijkingen, bijvoorbeeld omdat de luchtverkeersleiding instructies geeft om hoger of lager te vliegen. Deze afwijkingen zijn in het algemeen groter naarmate de afstand tot de luchthaven groter is. Ook weersinvloeden spelen hierbij een rol. Wind en temperatuur hebben bijvoorbeeld invloed op de snelheid waarmee een vliegtuig hoogte kan winnen bij de start of op het motorvermogen dat nodig is om een vliegtuig veilig te laten landen.

d) De invloed van weersomstandigheden en bodem op de geluidoverdracht

De omstandigheden in de atmosfeer zijn van invloed op de overdracht van het geluid tussen bron en waarneempunt. Als het vliegtuig zich boven de waarnemer bevindt, is deze invloed minder groot dan wanneer de waarnemer het vliegtuig dicht boven de horizon ziet. In het laatste geval is ook de invloed van de bodem op de geluidoverdracht veel groter. Het model houdt rekening met de gemiddelde invloed, dat wil zeggen gemiddeld over weersomstandigheden die jaarlijks voorkomen bij een 'gemiddelde bodem' (grasland). In figuur 2.4 is deze invloed (volgens het rekenmodel) weergegeven¹⁰. Gemiddeld is er sprake van een verzwakking van het geluid, maar in werkelijkheid kunnen er omstandigheden zijn waarbij een versterking optreedt (of waarbij de verzwakking minder groot is). De optredende geluidniveaus zullen dan dus hoger zijn dan de berekende.

¹⁰ Deze invloed is onderdeel van wat in het rekenmodel de laterale geluidverzwakking wordt genoemd.

(blanco)

3 Resultaten van vergelijkingen

3.1 NOMOS 2002 in vergelijking met FANOMOS

3.1.1 Koppeling van meetresultaten en rekenuitkomsten

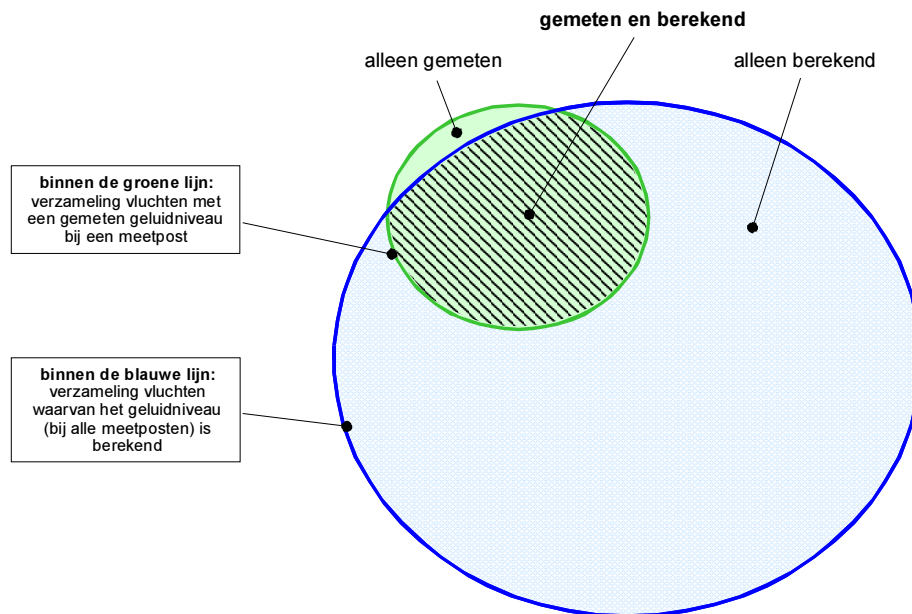
Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van alle door NOMOS gemeten geluidniveaus (L_{Amax} en L_{AX}) per vlucht van november 2001 t/m oktober 2002 (gebruiksjaar 2002) en van de binnen dezelfde periode berekende geluidniveaus van alle vliegbewegingen van en naar Schiphol. De berekeningen zijn uitgevoerd met FANOMOS op basis van de werkelijk gevlogen (en door de FANOMOS-radar geregistreerde) vliegroutes voor de locaties (RD-coördinaten) van 20 meetposten van NOMOS. Omdat van (bijna) iedere vlucht in ieder meetpunt geluidniveaus worden berekend (ook als het meetpunt heel ver van de gevlogen route vandaan ligt) en lang niet alle vluchten ook ter plaatse van de meetpunten worden geregistreerd, zijn er veel meer rekenuitkomsten dan meetresultaten. Zie figuur 3.1. Het aantal gemeten vluchten varieert per meetpost van ongeveer 2.700 (punt 17) tot 100.000 (punten 1 en 12), terwijl het aantal berekende vluchten (voor elk punt) meer dan 400.000 bedraagt.

De meetresultaten van NOMOS zijn gekoppeld aan een vlucht door middel van het zogenoemde *call sign*. Dit *call sign* is niet uniek. Het kan zelfs per dag meer dan één keer voorkomen, maar samen met de tijd waarop NOMOS het aan de vlucht toegewezen geluidniveau heeft gemeten vormt het *call sign* de ‘sleutel’ om een gemeten geluidniveau te koppelen aan het corresponderende berekende niveau. De koppeling is uitgevoerd op basis van het criterium dat het *call sign* moet overeenstemmen en het tijdsverschil tussen het moment van de meting (L_{Amax}) en de in FANOMOS geregistreerde tijd niet meer dan 20 minuten mag bedragen. Tegen de verwachting in blijkt dan dat niet bij iedere registratie van NOMOS een koppeling met de rekenresultaten van FANOMOS mogelijk is. De belangrijkste oorzaak hiervan is dat NOMOS en FANOMOS gebruik maken van verschillende, onafhankelijke systemen voor het vastleggen van vliegpaden (radar), voor het verwerken van vluchtinformatie en voor de controle en correctie van de verkregen informatie.

Het percentage van de gemeten vluchten waarbij wel een koppeling mogelijk is, varieert afhankelijk van het meetpunt tussen 76% en 98%. Er zijn 5 meetposten met een percentage van minder dan 95% (de nummers 4, 7, 11, 17 en 18).

Afhankelijk van de meetpost heeft NOMOS bij 1% tot 20% van de geregistreerde vluchten de geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} meer dan één keer op korte tijd na elkaar bepaald. Dit kan veroorzaakt zijn doordat het geluidniveau niet gedurende de gehele vliegtuigpassage boven de detectiedrempel van de meetpost heeft gelegen. Vooral als het vliegtuig een bocht maakt in de buurt van het meetpunt zou NOMOS het meer dan één keer kunnen registreren. Ook is het mogelijk dat het geluid van andere bronnen een rol heeft gespeeld. Ten

behoefte van de vergelijking met resultaten van FANOMOS zijn de meetresultaten zodanig bewerkt dat wanneer meer dan één meting bij dezelfde vlucht blijkt te horen, er één gemeten niveau L_{Amax} (de hoogste van de gemeten waarden) en één niveau L_{AX} (de energetische som van de gemeten waarden) aan die vlucht is toegekend.

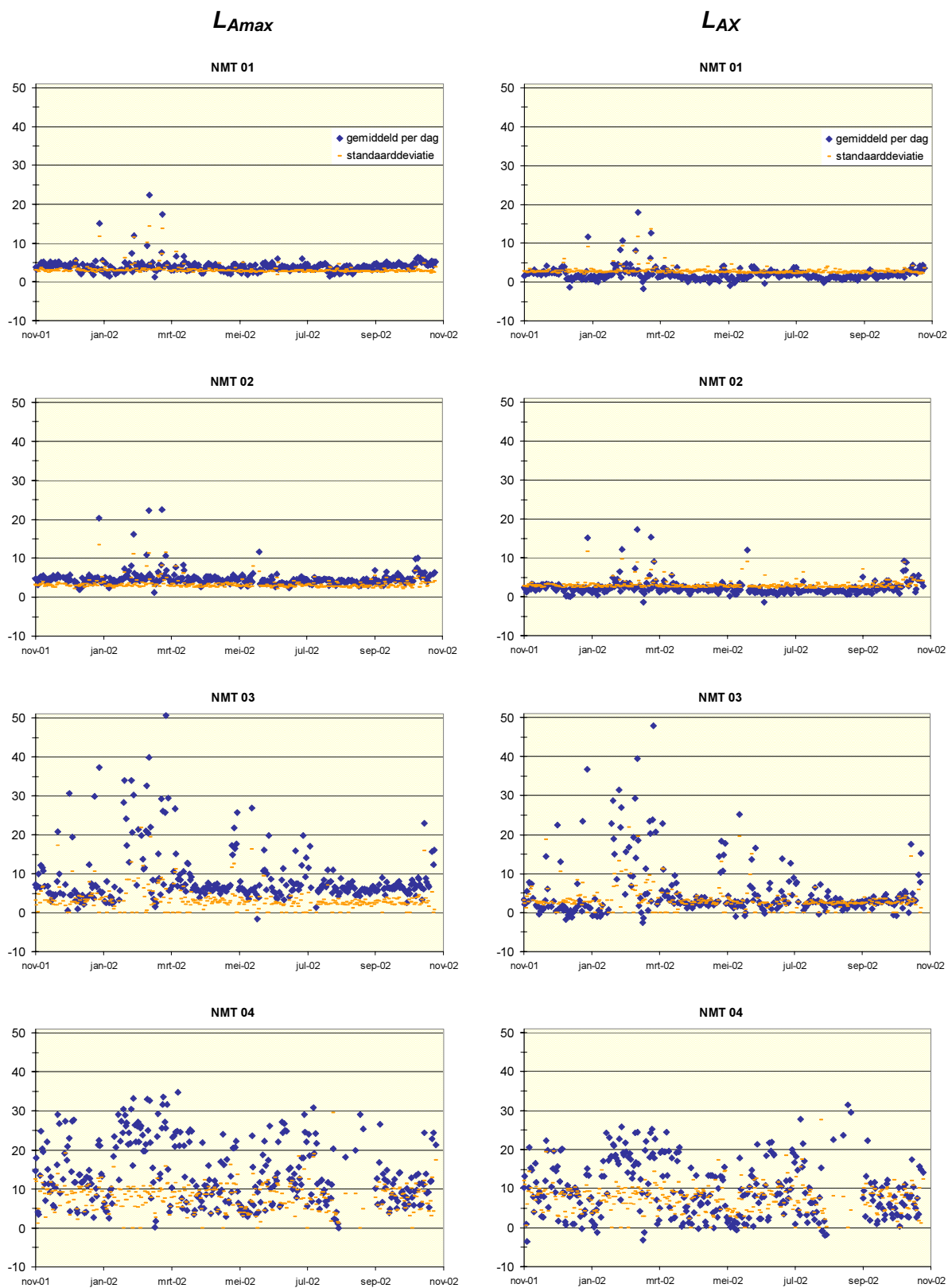


Figuur 3.1: De verzameling van vluchten waarvan de geluidniveaus bij een meetpost zijn gemeten (groen) en de verzameling van vluchten waarvan de geluidniveaus zijn berekend (blauw).

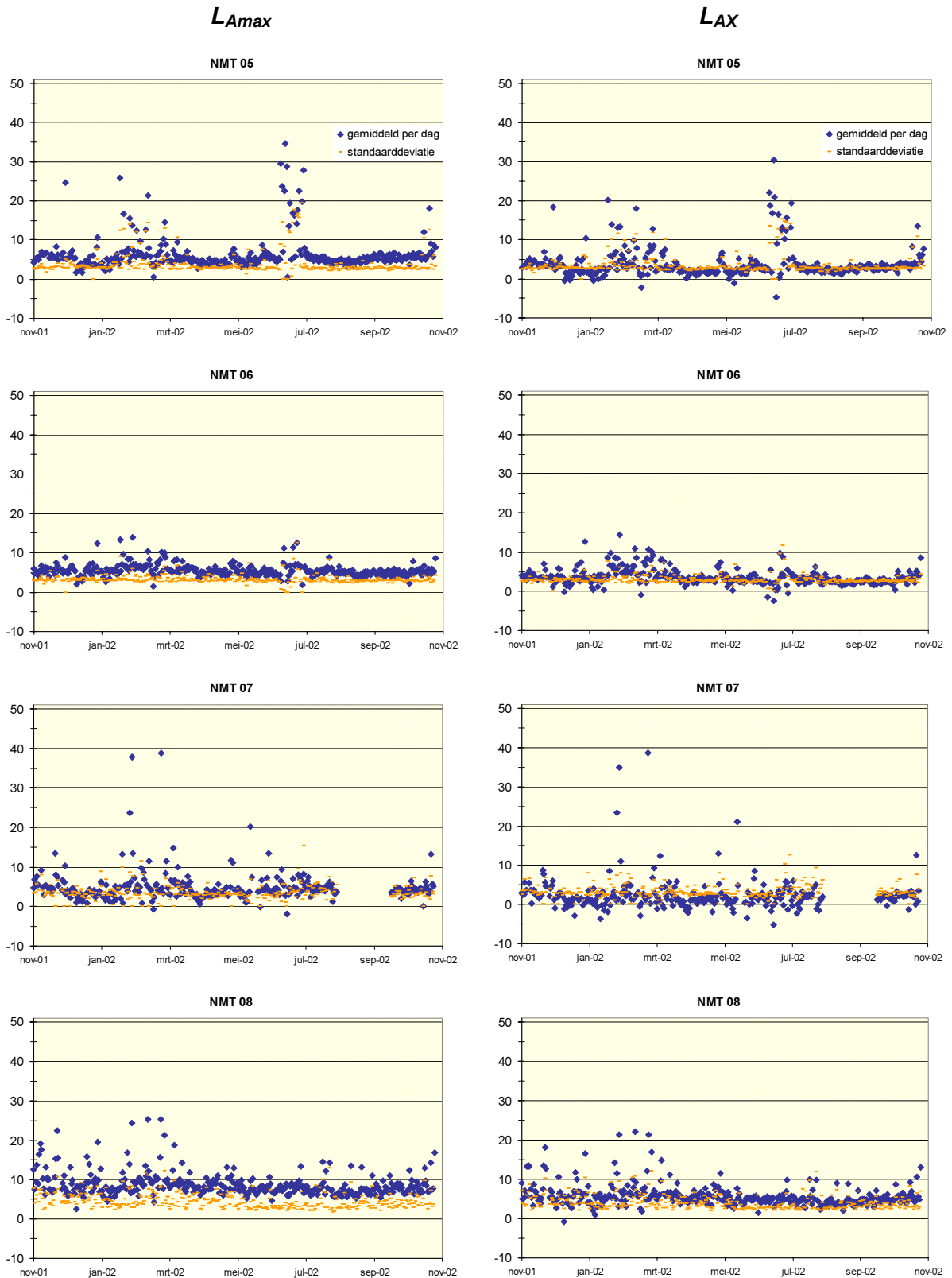
3.1.2 Verschillen per dag

Van alle gemeten geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} zijn per vlucht afzonderlijk de verschillen bepaald met de corresponderende berekende geluidniveaus. Per meetpost en per dag zijn deze verschillen gemiddeld. De figuren 3.2 t/m 3.6 geven de resultaten van deze gemiddelden (blauw) en de daarbij horende standaarddeviaties (oranje). Elk punt in een figuur representeert één dag (24 uur) van het gebruiksjaar 2002.

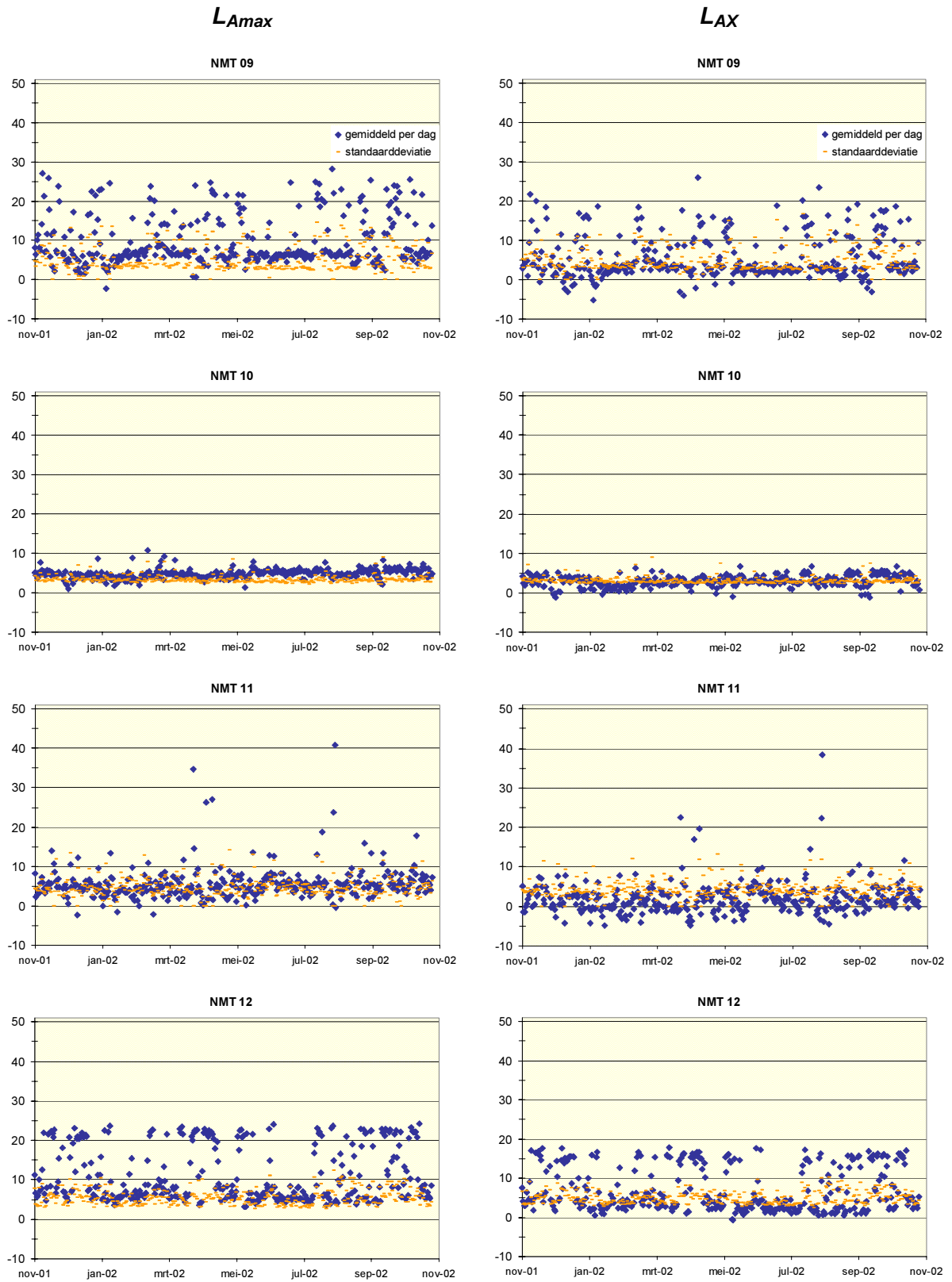
Uit de figuren blijkt dat de per dag gemeten niveaus L_{Amax} in het algemeen hoger zijn dan de berekende waarden. Dit geldt ook voor de niveaus L_{AX} , maar de per dag gemiddelde verschillen tussen gemeten en berekende niveaus zijn voor L_{AX} kleiner dan voor L_{Amax} . Bij enkele meetposten komen ook dagen voor waarbij het gemiddelde verschil voor L_{AX} negatief is, dus waarbij de gemeten niveaus op die dag gemiddeld lager zijn dan de berekende.



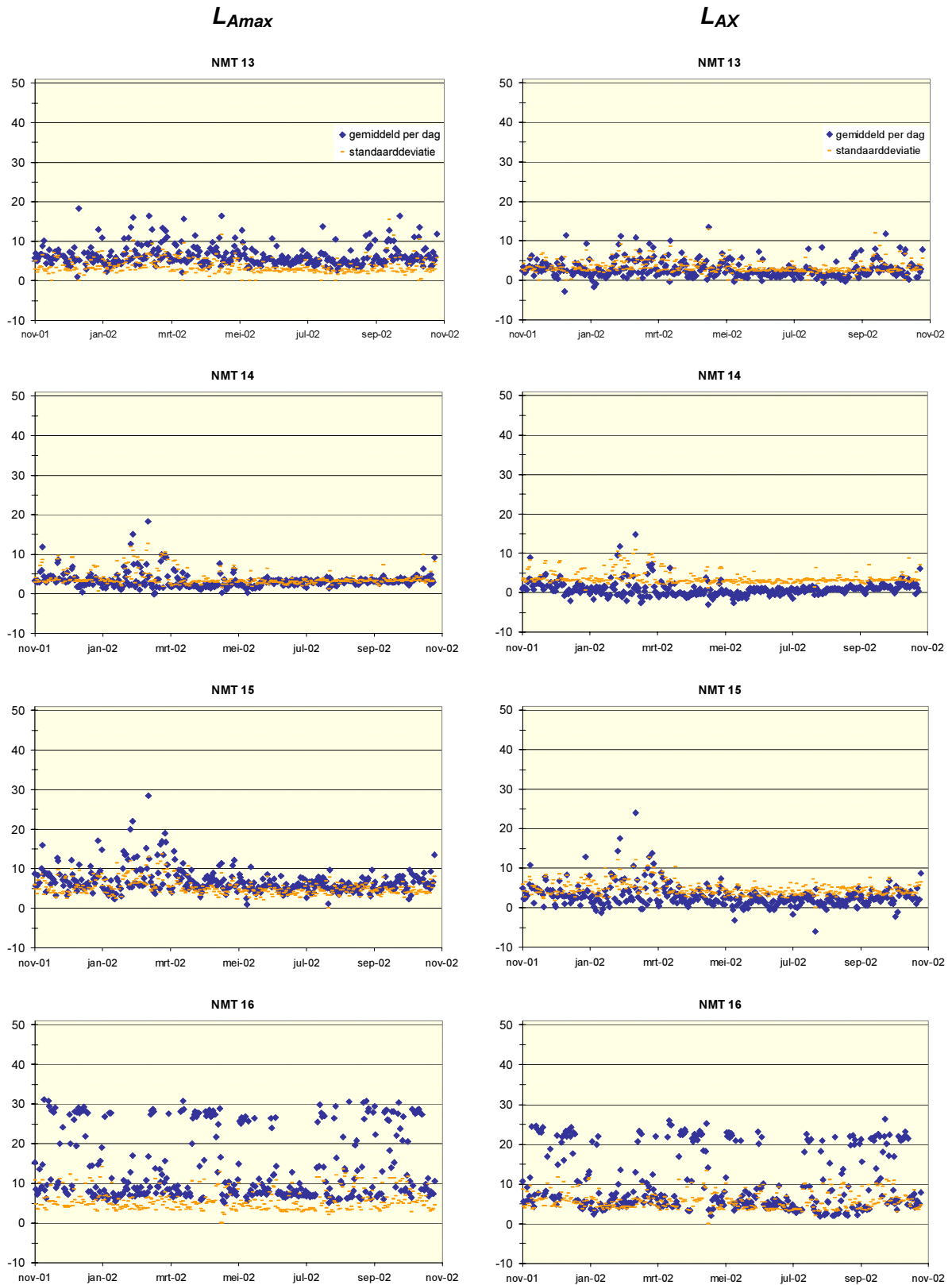
Figuur 3.2: Verschillen (met standaarddeviatie) tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} (links) en L_{AX} (rechts) van vliegtuigpassages, gemiddeld per dag, in dB(A), voor de NOMOS-metposten 1 t/m 4.



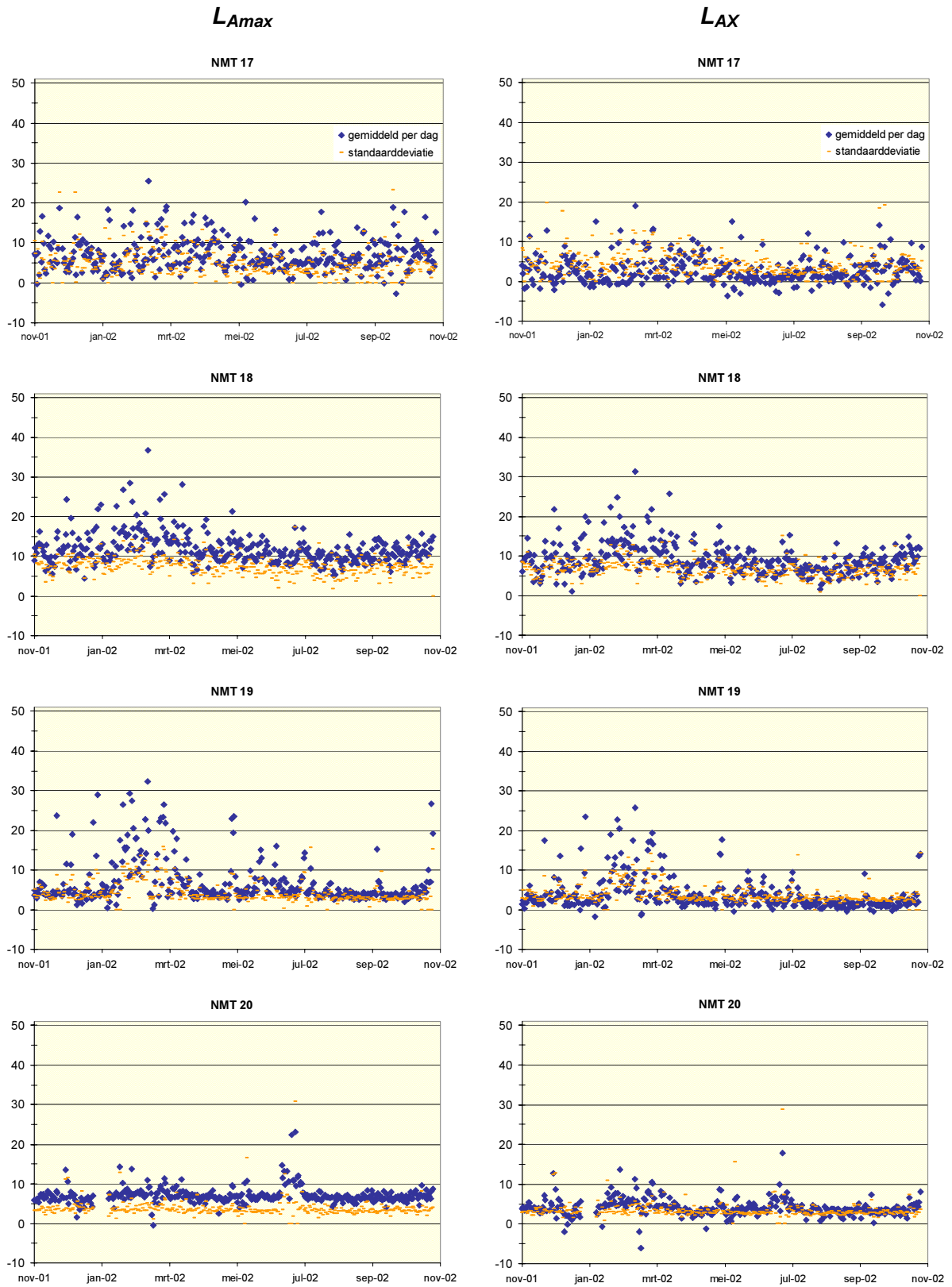
Figuur 3.3: Verschillen (met standaarddeviatie) tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} (links) en L_{AX} (rechts) van vliegtuigpassages, gemiddeld per dag, in dB(A), voor de NOMOS-metposten 5 t/m 8.



Figuur 3.4: *Versillen (met standaarddeviatie) tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} (links) en L_{AX} (rechts) van vliegtuigpassages, gemiddeld per dag, in dB(A), voor de NOMOS-metposten 9 t/m 12.*

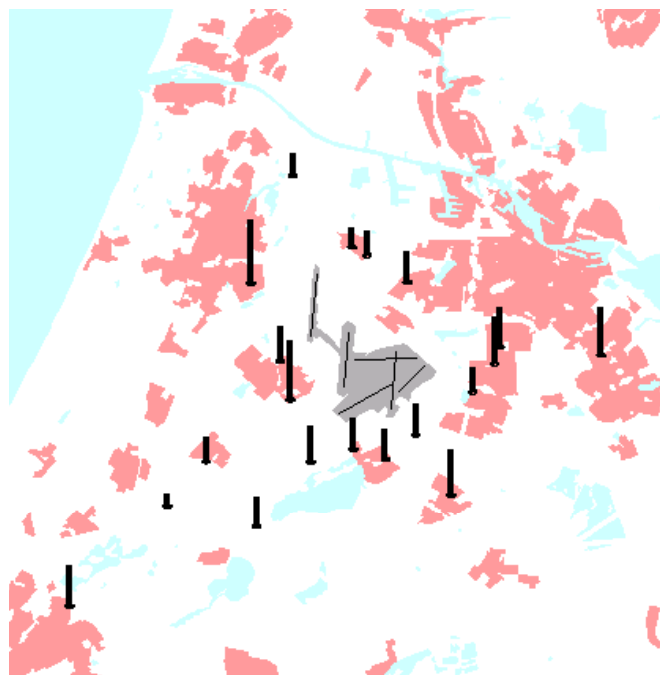


Figuur 3.5: Verschillen (met standaarddeviatie) tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} (links) en L_{AX} (rechts) van vliegtuigpassages, gemiddeld per dag, in dB(A), voor de NOMOS-metposten 13 t/m 16.



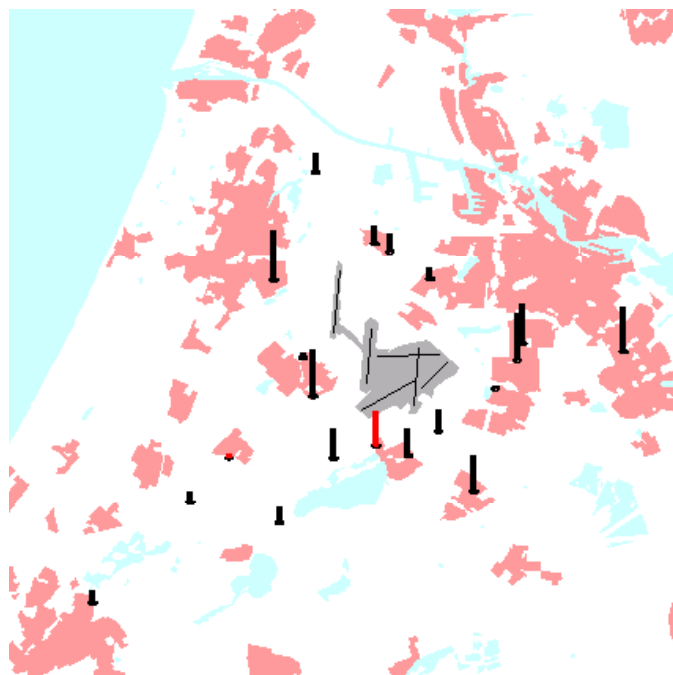
Figuur 3.6: Verschillen (met standaarddeviatie) tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} (links) en L_{AX} (rechts) van vliegtuigpassages, gemiddeld per dag, in dB(A), voor de NOMOS-meetposten 17 t/m 20.

NMT nr.	geluidbelasting [dB(A)]		verschil
	gemeten	berekend	
01	64,6	62,4	2,1
02	61,4	58,8	2,6
03	52,0	48,5	3,5
04	49,7	45,3	4,4
05	60,3	56,0	4,4
06	62,9	57,8	5,1
07	52,0	49,3	2,7
08	55,4	50,4	5,0
09	55,8	52,4	3,4
10	61,8	58,6	3,2
11	46,9	43,5	3,4
12	59,7	55,8	3,9
13	53,6	50,3	3,3
14	60,5	59,1	1,4
15	52,0	49,4	2,6
16	57,5	51,1	6,4
17	44,5	40,7	3,8
18	50,5	43,5	7,1
19	55,4	52,9	2,5
20	58,7	53,5	5,2



Tabel 3.1: *Vergelijking tussen de op basis van metingen en berekeningen vastgestelde geluidbelasting (2002) voor 20 NOMOS-metposten, waarbij alleen de vliegbewegingen worden meegeteld waarvan het geluidniveau L_{AX} zowel gemeten als berekend is.*

NMT nr.	geluidbelasting [dB(A)]		verschil
	gemeten	berekend	
01	64,8	62,9	1,9
02	61,6	59,6	2,0
03	52,3	51,1	1,2
04	50,1	48,7	1,4
05	60,7	56,4	4,3
06	63,2	58,1	5,1
07	52,4	52,2	0,2
08	55,6	51,7	3,8
09	56,0	53,7	2,3
10	62,0	59,1	2,9
11	47,7	51,5	-3,8
12	59,9	56,6	3,2
13	53,7	52,1	1,6
14	60,6	59,5	1,2
15	52,2	52,6	-0,3
16	57,7	52,6	5,1
17	45,9	45,3	0,6
18	51,0	45,5	5,5
19	55,5	53,5	2,1
20	59,1	54,3	4,8



Tabel 3.2: *Vergelijking tussen de op basis van metingen en berekeningen vastgestelde geluidbelasting (2002) voor 20 NOMOS-metposten, waarbij alle gemeten en alle berekende geluidniveaus L_{AX} worden meegeteld.*

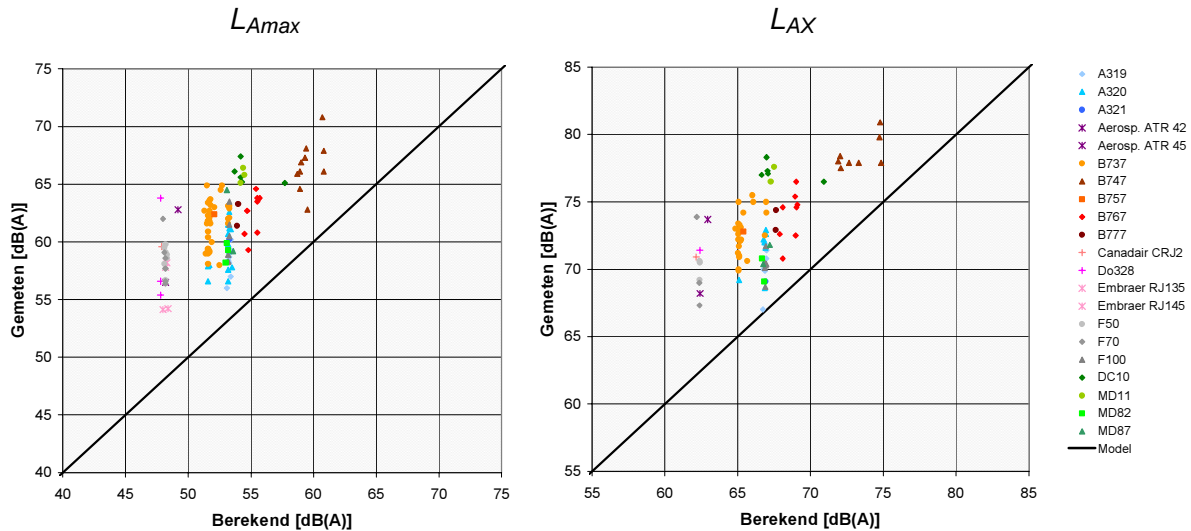
Op grond van de resultaten is er een onderscheid te maken tussen de meetpunten waarbij:

- het (per dag) gemiddelde verschil tussen gemeten en berekende niveaus op enkele uitschieters na voor de verschillende dagen relatief dicht bij elkaar in de buurt ligt (de meetposten 1, 2, 5, 6, 10, 14 en 20);
- de spreiding tussen de per dag gemiddelde verschillen veel groter is, met een op het oog willekeurige verdeling (de overige meetposten met uitzondering van 12 en 16);
- dagen met relatief kleine verschillen tussen de gemeten en berekende geluidniveaus, afgewisseld met dagen met grote verschillen, waarbij de spreiding tussen die grote verschillen relatief klein is (de punten 12 en 16).

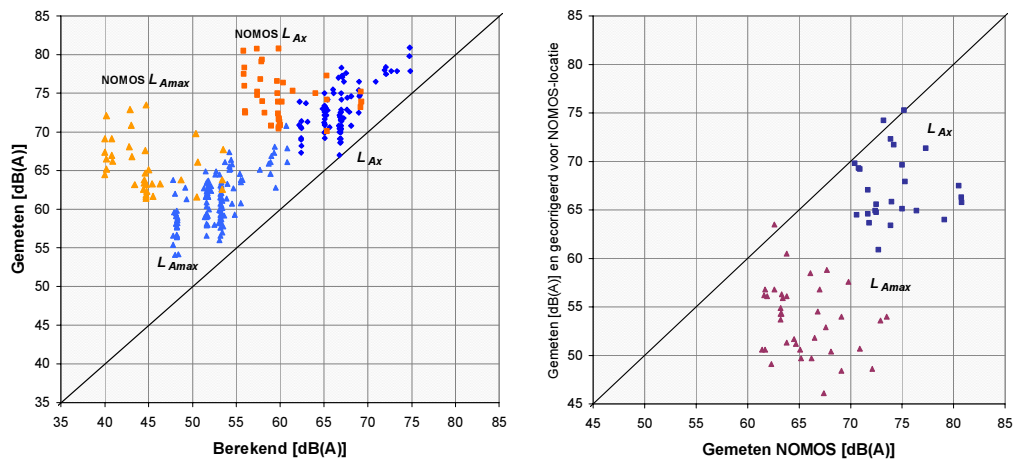
3.1.3 *Verschillen per jaar (geluidbelasting L_{den})*

De over het gehele gebruiksjaar gemeten en berekende geluidexpositieniveaus L_{AX} van afzonderlijke vliegbewegingen zijn (energetisch) gesommeerd tot een totale geluidbelasting, op de wijze zoals dat gebeurt bij het bepalen van L_{den} (dus met weging voor dag-, avond- en nachtperiode, zie bijlage A). Tabel 3.1 geeft per meetpunt de vergelijking tussen de op basis van NOMOS-metingen en op basis van FANOMOS-berekeningen vastgestelde geluidbelasting over het gebruiksjaar 2002, waarbij in beide gevallen exact dezelfde vliegbewegingen zijn meegeteld. Dus alle vliegbewegingen waarvoor wel een niveau L_{AX} is gemeten, maar niet berekend, of omgekeerd, zijn in de sommatie voor L_{den} niet meegenomen. In de figuur naast de tabel zijn de verschillen tussen de geluidbelastingen op basis van metingen en berekeningen per meetpunt grafisch weergegeven. Het verschil is voor alle meetpunten positief, dus geluidbelasting op basis van de gemeten waarden is altijd groter.

Voor de handhaving wordt de geluidbelasting L_{den} berekend uit de sommatie van de niveaus L_{AX} van veel meer vluchten dan in de hierboven bedoelde sommatie zijn meegenomen. Daarom liggen deze waarden L_{den} , weergegeven in de kolom *berekend* van tabel 3.2, hoger dan in dezelfde kolom van tabel 3.1. Het gaat om een verhoging van enkele tienden van dB(A) tot 3 dB(A), met uitzondering van de punten 11 en 17, waar de verhoging respectievelijk 8 dB(A) en 4 dB(A) bedraagt. Voor punt 11 heeft dit tot gevolg dat L_{den} (berekend) hoger is dan de op basis van de gemeten niveaus L_{AX} vastgestelde geluidbelasting. In alle andere punten is de gemeten geluidbelasting hoger (dus ondanks het feit dat hierin veel minder vluchten zijn meegenomen). In de punten 7, 15 en 17 is het verschil kleiner dan 1 dB(A). Ook de geluidbelasting op basis van metingen in tabel 3.2 is iets hoger dan in tabel 3.1, omdat nu alle metingen (ook van vluchten die niet zijn berekend) in de sommatie zijn meegenomen.



Figuur 3.7: *Verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van landende vliegtuigen onder 10° elevatiehoek in Rijssenhout (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as, met in kleur onderscheid naar vliegtuigtype).*



Figuur 3.8: ***Links:** verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus voor de locatie in Rijssenhout met in blauw de resultaten van de metingen onder toezicht en in oranje/rood de resultaten van NOMOS-metpost 12 (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as, met in kleur onderscheid tussen L_{Amax} en L_{AX}).*
***Rechts:** resultaten van de metingen onder toezicht uitgezet langs de verticale as tegen de resultaten van NOMOS-metpost 12 langs de horizontale as, voor dezelfde vliegtuigpassages, na correctie voor de afstand tussen de meetpunten.*

3.2 Metingen CDV (2005) in vergelijking met FANOMOS

3.2.1 Meetlocatie Rijssenhout

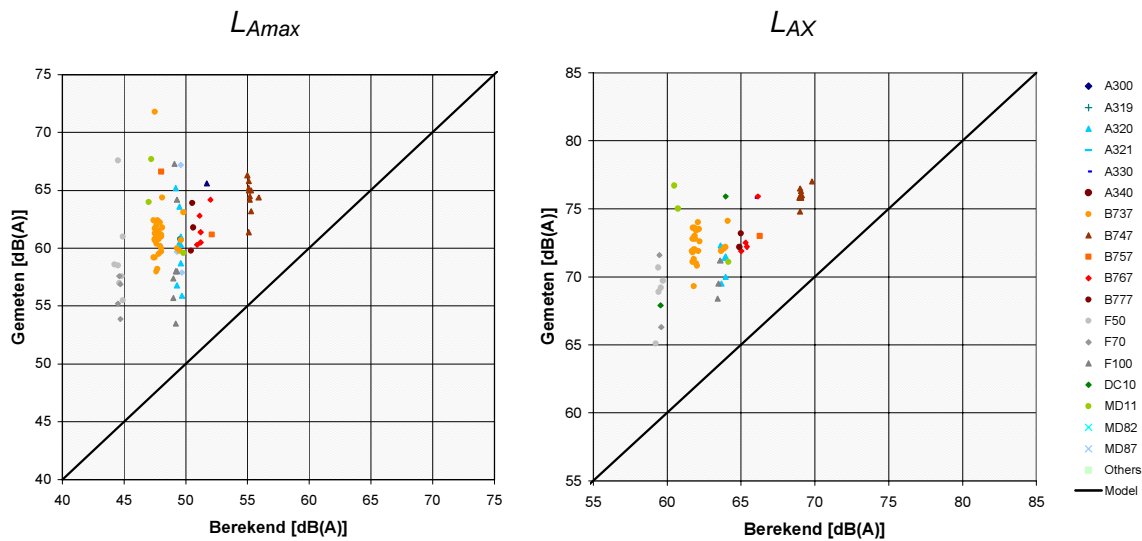
De meetlocatie in Rijssenhout is gekozen vanwege de grote verschillen (ongeveer 20 dB(A) voor de L_{Amax} -waarden, zie figuur 3.4) die zijn gevonden tussen de resultaten van NOMOS-meetpost 12 en FANOMOS, op dagen dat de Kaagbaan voor landingen is gebruikt. Het gekozen meetpunt ligt niet direct naast de NOMOS-meetpost, maar op een afstand van ongeveer 500 m daarvandaan net buiten de woonbebouwing en dicht bij de aanvliegroete. De keuze van deze locatie is gebaseerd op de verwachting dat hier meer vlieg-bewegingen vrij van stoorgeluid gemeten konden worden, dan bij de NOMOS-meetpost temidden van woonbebouwing. De metingen zijn uitgevoerd op 12 januari 2005. Gedurende de meetperiode is de Kaagbaan alleen voor landingen gebruikt. De vliegtuigen worden vanuit het meetpunt gezien onder een hoek (elevatiehoek) van ongeveer 10° met het horizontale vlak.

Volgens FANOMOS zijn er gedurende de periode van de metingen 125 toestellen geland op de Kaagbaan. Van 124 van deze vliegtuigen is het geluid-niveau gedurende de passage gemeten. In figuur 3.7 worden de resultaten van de metingen vergeleken met de uitkomsten van de FANOMOS-berekeningen. Elk punt in een figuur representeert het meet- en rekenresultaat van één vliegtuigpassage. Langs de verticale as is het niveau weergegeven dat is gemeten met een microfoon op 1,5 m boven het gras van een voetbalveld¹¹.

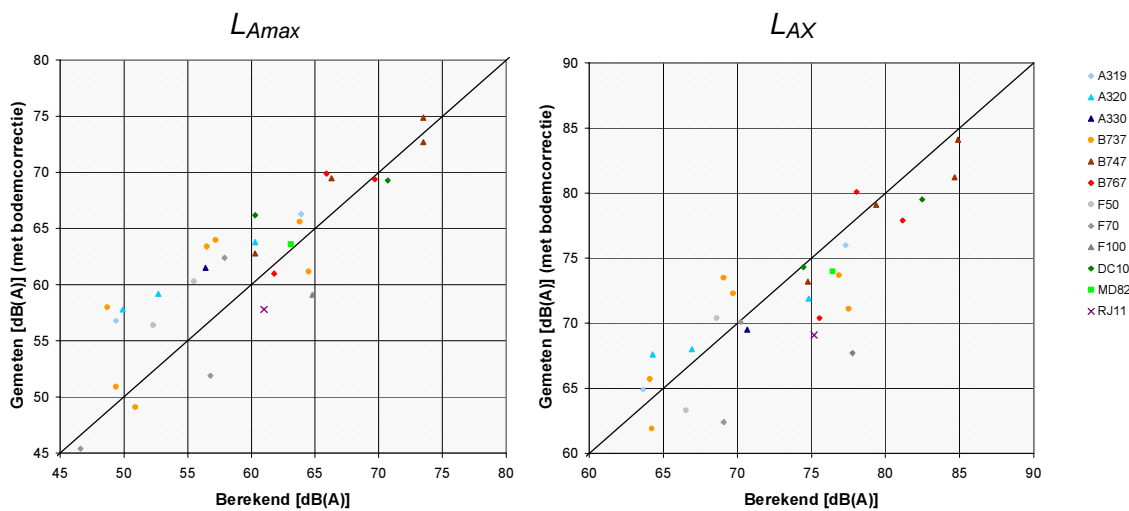
Figuur 3.7 laat grote verschillen zien tussen gemeten en berekende waarden, maar de verschillen zijn kleiner dan voor de meetresultaten van NOMOS in 2002 zijn geconstateerd (figuur 3.4, meetpost 12). Voor dezelfde meetperiode op 12 januari 2005 is ook voor de meetresultaten van NOMOS de vergelijking gemaakt met de corresponderende rekenuitkomsten van FANOMOS. De berekende niveaus voor de NOMOS-locatie zijn volgens verwachting lager dan voor het dicht bij de aanvliegroete gekozen meetpunt, maar de door NOMOS gemeten niveaus zijn hoger. Hierdoor is het verschil met de berekende niveaus voor de resultaten van NOMOS groter dan voor de resultaten van de onder toezicht uitgevoerde metingen op het punt dicht bij de aanvliegroete, zoals getoond in de linker helft van figuur 3.8.

NOMOS heeft van 37 vliegtuigpassages de geluidniveaus geregistreerd, dus aanzienlijk minder dan de 124 passages van de onder toezicht uitgevoerde metingen gedurende dezelfde periode. Van alle passages die NOMOS wel heeft gedetecteerd is in de rechter helft van figuur 3.8 de vergelijking gemaakt met het corresponderende resultaat van de onder toezicht uitgevoerde metingen, na correctie voor het verschil tussen de locaties van de meetpunten. Deze correctie

¹¹ Bij een elevatiehoek van 10° is de meetmethode boven de harde plaat (zie paragraaf 2.3) niet geschikt om de bodeminvloed te normaliseren. De resultaten van de microfoon boven de harde plaat zijn daarom voor deze meetlocatie in de vergelijking met berekende waarden niet gebruikt. Zie ook paragraaf 4.3.



Figuur 3.9: Verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van landende vliegtuigen onder 10° elevatiehoek in Haarlemmerliede (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as, met in kleur onderscheid naar vliegtuigtype).



Figuur 3.10: Verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van landende vliegtuigen in Heemskerk (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as, met in kleur onderscheid naar vliegtuigtype).

is als volgt uitgevoerd: Voor L_{Amax} en L_{AX} is van alle vliegtuigpassages afzonderlijk het verschil bepaald tussen

- a) het resultaat van de FANOMOS-berekening voor het meetpunt van de metingen onder toezicht en
- b) het resultaat van de FANOMOS-berekening voor de locatie van NOMOS-meetpost 12

en dit verschil is afgetrokken van de gemeten waarde op het meetpunt a). Zodoende zijn de resultaten van de onder toezicht uitgevoerde metingen als het ware omgerekend van het werkelijke meetpunt naar de plaats van de NOMOS-meetpost.

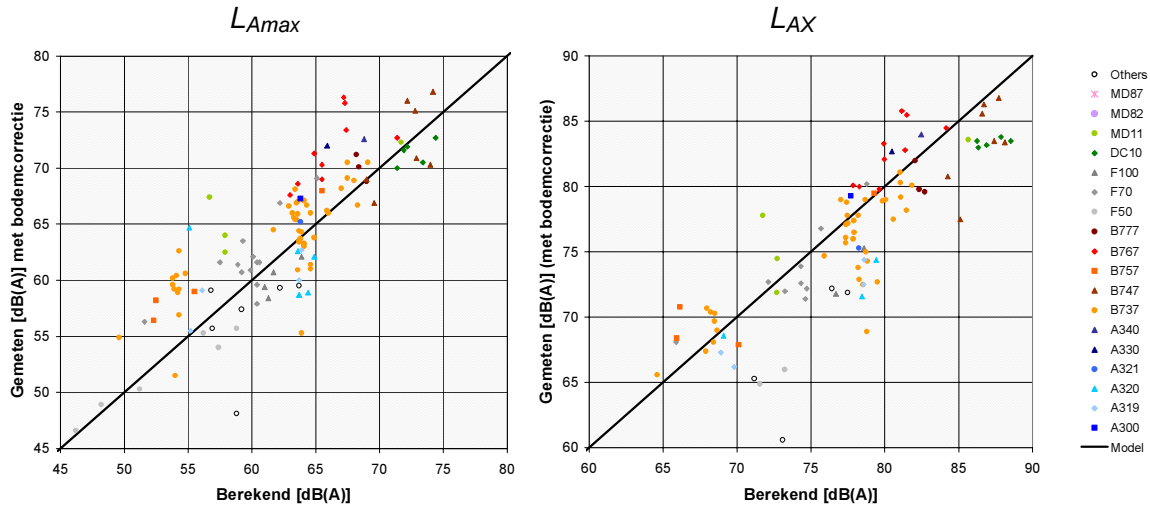
3.2.2 Meetlocatie Haarlemmerliede

De meetlocatie in Haarlemmerliede, waar op 10 november 2005 metingen zijn uitgevoerd, is vergelijkbaar met Rijssenhout, maar ligt langs de aanvliegroute van een andere baan, de Polderbaan. In beide locaties is het geluid van landende vliegtuigen gemeten onder een kleine elevatiehoek (hoek tussen het horizontale vlak en de lijn van waarneempunt naar geluidbron) van ongeveer 10° . De invloed van de bodem en de weersomstandigheden is in die situaties groot. Omdat deze invloed van plaats tot plaats en van dag tot dag verschillend kan zijn, zijn de metingen aan landende vliegtuigen bij kleine elevatiehoeken op twee verschillende locaties en verschillende meetdagen uitgevoerd. In Rijssenhout was gedurende de meetdag sprake van wind in de richting van geluidbron naar het waarneempunt ('meewind' met de geluidoverdracht) en in Haarlemmerliede in omgekeerde richting. Desondanks laten de resultaten van beide meetlocaties hetzelfde beeld zien. Figuur 3.9 toont de resultaten voor Haarlemmerliede, figuur 3.7 voor Rijssenhout.

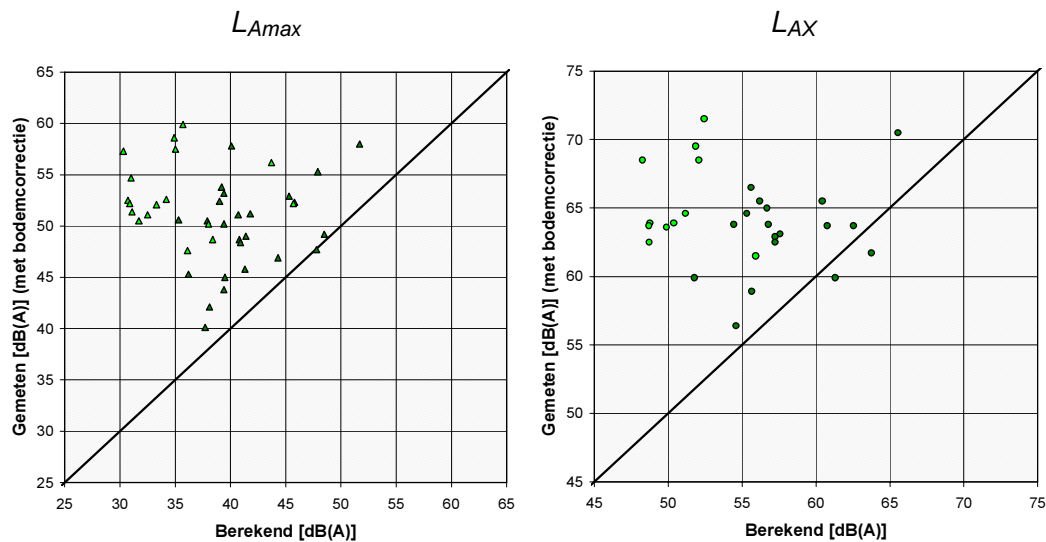
3.2.3 Meetlocatie Heemskerk

Op 26 en 27 mei 2005 zijn metingen uitgevoerd op een locatie in Heemskerk. Vliegtuigen kwamen hier uit verschillende richtingen over voor landingen op de Polderbaan (18R) en de Zwanenburgbaan (18C). De meetlocatie ligt op grotere afstand van de landingsbaan dan de locaties in Rijssenhout en Haarlemmerliede, zodat vliegtuigen op grotere hoogte het meetpunt passeren en de elevatiehoek groter is.

Evenals in Rijssenhout en Haarlemmerliede hebben de meetresultaten uitsluitend betrekking op landende vliegtuigen. Voor veel van de gemeten vliegtuigpassages is er onvoldoende zekerheid dat het gemeten niveau in verwaarloosbare mate is beïnvloed door stoorgeluid van andere geluidbronnen, vooral windgeruis, vogels en landbouwwerktuigen. Daarom worden van de 110 metingen slechts 31 resultaten in figuur 3.10 gepresenteerd, waarvan zeker is dat deze alleen vliegtuiggeluid betreffen.



Figuur 3.11: Verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van **startende** vliegtuigen in **Spaarndam** (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as, met in kleur onderscheid naar vliegtuigtype).



Figuur 3.12: Verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van **landende** vliegtuigen in **Rijswijk** (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as, met in kleur onderscheid naar landingsbaan: lichtgroen = 18C/18R; donkergroen = 06).

De resultaten in figuur 3.10 zijn verkregen met een microfoon boven een harde plaat, waarbij het effect van de bodem is genormaliseerd. Dit betekent dat er een correctie is toegepast voor het verschil tussen de invloed van de harde bodem en de te verwachten invloed van een ‘standaard’-bodem (grasland), waarop de rekenuitkomsten betrekking hebben (zie paragraaf 2.4, *de omgeving van het waarneempunt*, en paragraaf 4.3).

Uit figuur 3.10 blijkt dat de gemeten geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van 31 vliegtuigpassages gemiddeld redelijk overeenstemmen met de corresponderende berekende niveaus. Wel is er wel sprake van een aanzienlijke spreiding rond de diagonaal waarop de gemeten en berekende waarde gelijk zijn.

Wanneer de bijdrage van de gemeten vluchten tot de geluidbelasting L_{den} wordt bepaald uit de gemeten waarden L_{AX} , ligt deze voor de locatie in Heemskerk ongeveer 1 dB(A) lager dan de bijdrage van dezelfde vliegtuigpassages op basis van de berekende waarden.

3.2.4 Meetlocatie Spaarndam

In Spaarndam zijn metingen uitgevoerd aan startende vliegtuigen vanaf de Polderbaan op 12 augustus 2005. De meeste toestellen vlogen in een rechte lijn in het verlengde van de startbaan, maar enkele begonnen ook nabij het passeren van het meetpunt naar oostelijke of westelijke richting af te buigen.

Stoorgeluid tijdens de metingen was vooral afkomstig van de nabij het meetpunt gelegen rijksweg A9, maar het niveau hiervan was laag in verhouding tot het geluid van de meeste vliegtuigpassages. In figuur 3.11 zijn alleen de betrouwbare metingen weergegeven, zonder invloed van andere geluidbronnen dan het passerende vliegtuig. Ook in Spaarndam is gebruik gemaakt van de meetmethode met de harde plaat; de gemeten waarden zijn gecorrigeerd voor de ‘standaard’-bodem.

Voor de locatie in Spaarndam liggen de meeste punten boven de diagonaal in de linker helft van figuur 3.11, wat betekent dat de gemeten waarden L_{Amax} gemiddeld hoger zijn dan de corresponderende rekenuitkomsten. De geluidniveaus L_{AX} van metingen en berekeningen liggen gemiddeld dicht bij elkaar. Er is geen significant verschil tussen de uit de gemeten of berekende waarden voor L_{AX} vastgestelde bijdrage tot de geluidbelasting L_{den} .

3.2.5 Meetlocatie Rijswijk

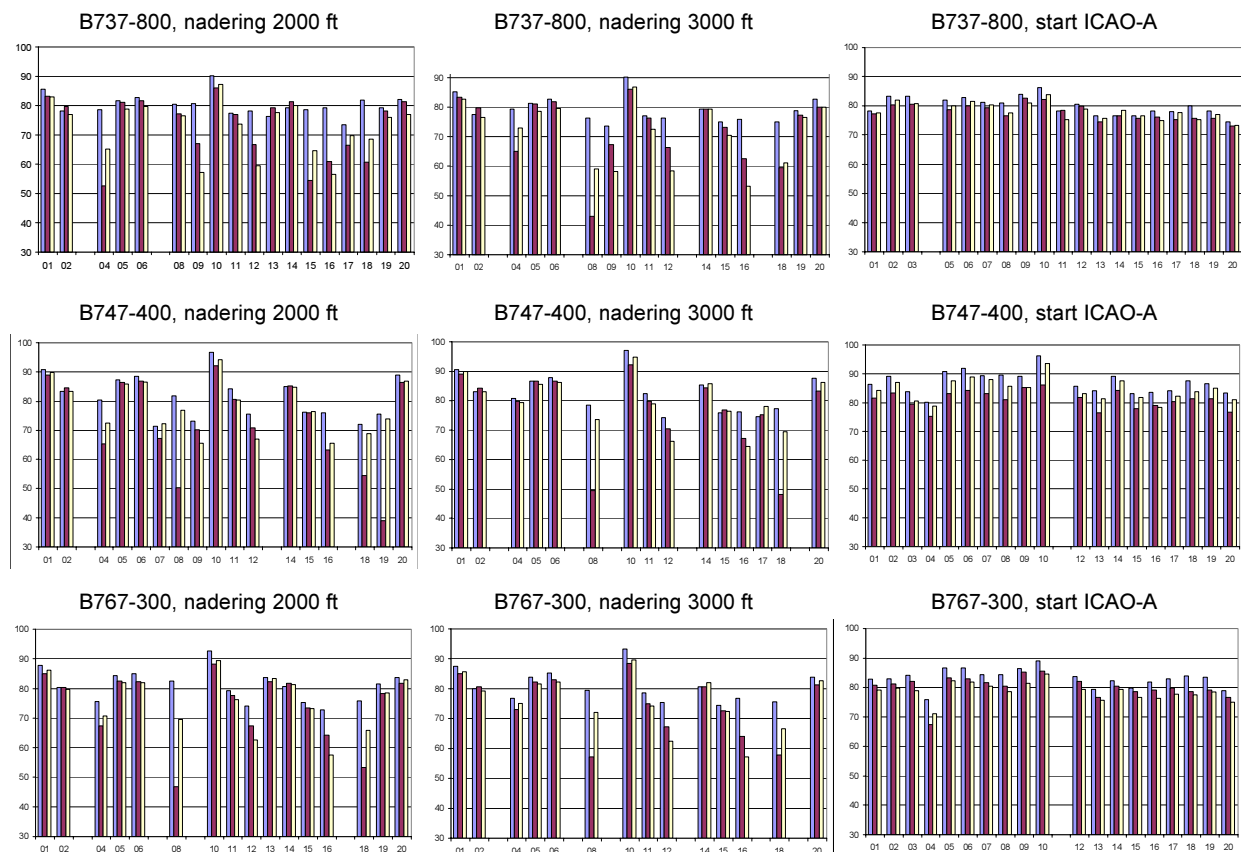
De vijfde meetlocatie in Rijswijk (Zuid-Holland) ligt op ongeveer 50 km afstand van Schiphol en is daarmee de verst van de luchthaven gelegen meetlocatie, buiten de kaart van figuur 2.1 en (ver) buiten de op basis van FANOMOS-berekeningen vastgestelde L_{den} -contour¹² van 45 dB(A).

¹² Het betreft de contour van het “grenswaardescenario”. Uitgaande van dit scenario zijn de grenswaarden voor de geluidbelasting L_{den} in de handhavingspunten berekend.

De geluidniveaus van passerende vliegtuigen zijn daarom in het algemeen ook lager dan op de andere meetlocaties, maar met waarden tot ongeveer 60 dB(A) voor L_{Amax} bleek het mogelijk hier nog betrouwbare metingen (onder toezicht) uit te voeren. Wel is er relatief veel inspanning nodig geweest om betrouwbare resultaten van ongeveer 50 vliegtuigpassages te verkrijgen, omdat

- a) vliegtuigen bij de meetlocatie niet gedurende een lange periode achter elkaar passeren, maar in groepen overkomen, met soms perioden van enkele uren waarin er nauwelijks vliegtuigbewegingen zijn waar te nemen en
- b) door de relatief lage geluidniveaus van vliegtuigen veel gemeten vliegtuigpassages niet bruikbaar zijn vanwege de mogelijke invloed van andere geluidbronnen.

De metingen moesten daarom gedurende verschillende perioden, verspreid over verschillende dagen worden uitgevoerd. Alle metingen hebben plaatsgevonden in november 2005.



Figuur 3.13: Geluidniveau L_{AX} voor 20 locaties van de NOMOS-metposten, gemeten door NOMOS, berekend op basis van FANOMOS en berekend volgens INM, gemiddeld voor drie vliegtuigtypen en drie vliegprocedures over de maand juli 2002. De gemiddelden zijn gebaseerd op dezelfde vliegtuigbewegingen en de werkelijk gevlogen grondpaden.

In figuur 3.12 zijn alleen de betrouwbare metingen (zonder invloed van andere geluidbronnen dan vliegtuigen) weergegeven. De figuur laat zien dat er relatief grote verschillen zijn tussen gemeten en berekende geluidniveaus. De verschillen lijken toe te nemen naarmate de geluidniveaus lager zijn. Bedenk hierbij echter dat punten links onder in de figuur er mogelijk wel zijn, maar door metingen niet konden worden gedetecteerd, en dat de kans dat een vliegtuigpassage tijdens een meetperiode ook een betrouwbaar meetresultaat heeft opgeleverd kleiner is naarmate het geluidniveau dat de passage veroorzaakt lager is. Dit geldt in het algemeen op meetlocaties waar het aantal vliegtuigpassages met een geluidniveau L_{Amax} dat ruim boven het niveau van het achtergrondgeluid ligt, relatief klein is.

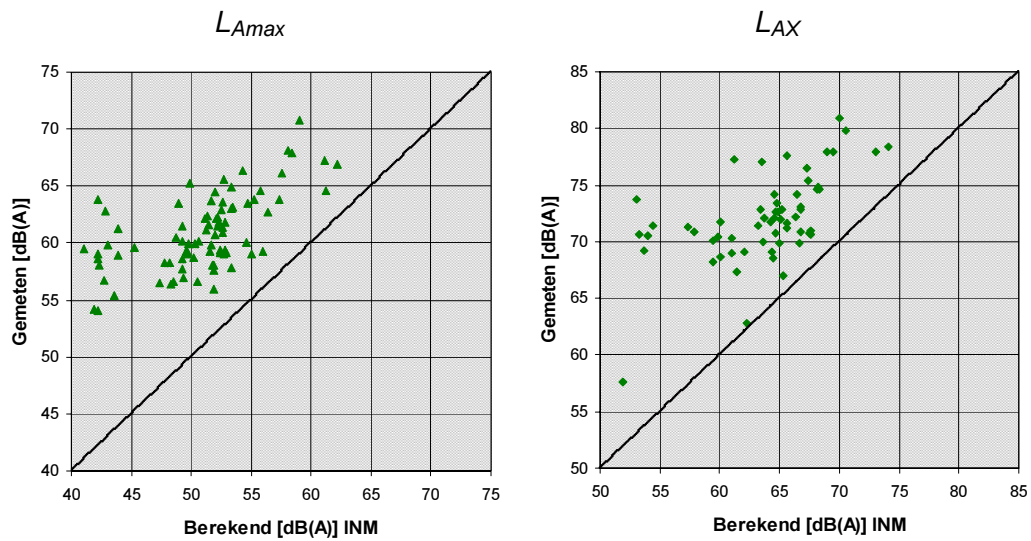
3.3 NOMOS (2002) en metingen CDV (2005) in vergelijking met INM

Naar aanleiding van de geconstateerde verschillen tussen meetresultaten en de berekende geluidniveaus met het Nederlandse rekenmodel op basis van FANOMOS, is de vraag gerezen of verschillen tussen metingen en berekeningen in dezelfde orde van grote optreden wanneer gebruik wordt gemaakt van een ander rekenmodel. Het *Integrated Noise Model* (INM) ligt dan voor de hand, omdat dit wereldwijd veel wordt toegepast en regelmatig aan nieuwe ontwikkelingen en nieuwe inzichten wordt aangepast. INM is ontwikkeld in de VS.

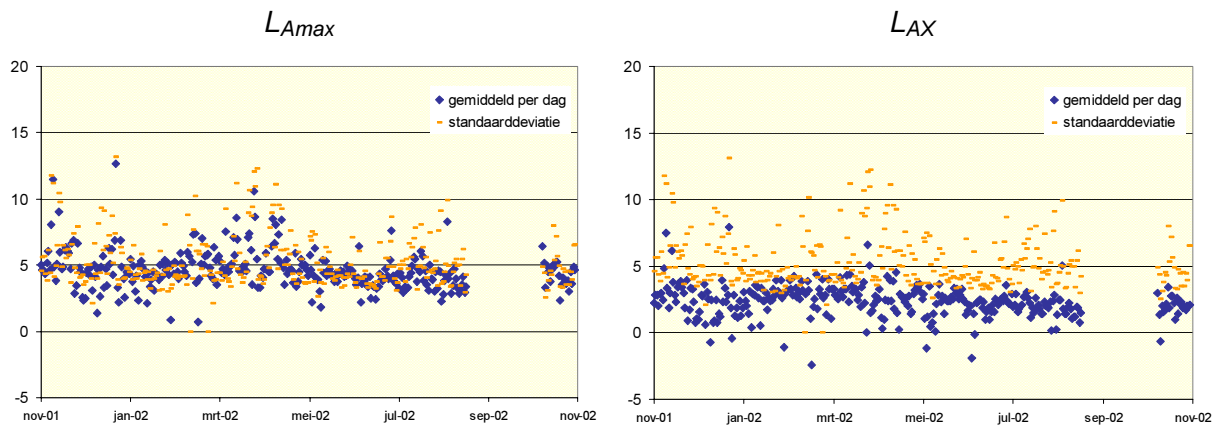
Berekeningen met INM voor Schiphol zijn nog weinig uitgevoerd en vereisen een relatief grote inspanning, omdat de combinaties van vliegtuigtypen en vliegprocedures specifiek voor Schiphol niet in het gegevensbestand van INM aanwezig zijn. Deze procedures moeten eerst worden gemodelleerd voor het rekenmodel. Het NLR heeft deze modellering uitgevoerd, conform de systematiek die in de handleiding van INM is aangegeven, voor drie op Schiphol veel voorkomende vliegtuigtypen (Boeing 737-800, 747-400 en 767-300) met de startprocedure ICAO-A en de landingsprocedures met naderingen op 2000 ft en 3000 ft.

In figuur 3.13 zijn per meetpost, per vliegtuigtype en per vliegprocedure de gemiddeld (per vliegbeweging) gemeten geluidniveaus voor de 20 NOMOS-metposten weergegeven, in vergelijking met de gemiddeld berekende niveaus, zowel op basis van FANOMOS als op basis van INM. De gemiddelden zijn energetisch bepaald over alle gemeten en corresponderende berekende geluidniveaus L_{AX} per vliegbeweging in één maand, juli 2002.

Voor de startende vliegtuigen (ICAO-A) liggen de uitkomsten van berekeningen met INM en FANOMOS voor het vliegtuigtype B737-800 dicht bij elkaar, maar voor de B747-400 zijn de uitkomsten van INM voor bijna alle locaties gemiddeld 2 tot 5 dB(A) lager en voor de B767-300 juist 1 tot 3 dB(A) hoger.



*Figuur 3.14: Verschillen tussen gemeten en met INM berekende geluidniveaus L_{Amax} en L_{AX} van landende vliegtuigen onder 10° elevatiehoek in **Rijssenhout** (gemeten waarden langs de verticale as, uitgezet tegen berekende waarden langs de horizontale as).*



Figuur 3.15: Verschillen (met standaarddeviatie) tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} (links) en L_{AX} (rechts) van vliegtuigpassages, gemiddeld per dag, in dB(A), voor de Luistervink-meetpost Assendelft in gebruiksjaar 2002.

Bij de naderingen (zowel 2000 ft als 3000 ft) valt op dat bij enkele meetposten INM een veel lager gemiddelde geeft dan FANOMOS, met verschillen tot meer dan 20 dB(A) bij de locaties van de meetposten 8 en 18. De resultaten van INM liggen bij de meetposten 12 en 16 voor landingen hoger dan de resultaten van FANOMOS en komen daarmee dichterbij de buurt van de meetresultaten van NOMOS, maar de verschillen blijven relatief groot.

Dit blijkt ook uit de vergelijking tussen de resultaten van onder toezicht uitgevoerde metingen in 2005 met de rekenuitkomsten van INM, die is gemaakt voor de locatie in Rijssenhout, nabij NOMOS-metpost 12. In figuur 3.14 is de vergelijking op dezelfde wijze gemaakt als in figuur 3.7, maar nu met langs de horizontale as de rekenuitkomsten van INM in plaats van FANOMOS. Figuur 3.14 laat geen duidelijk betere overeenstemming zien dan figuur 3.7.

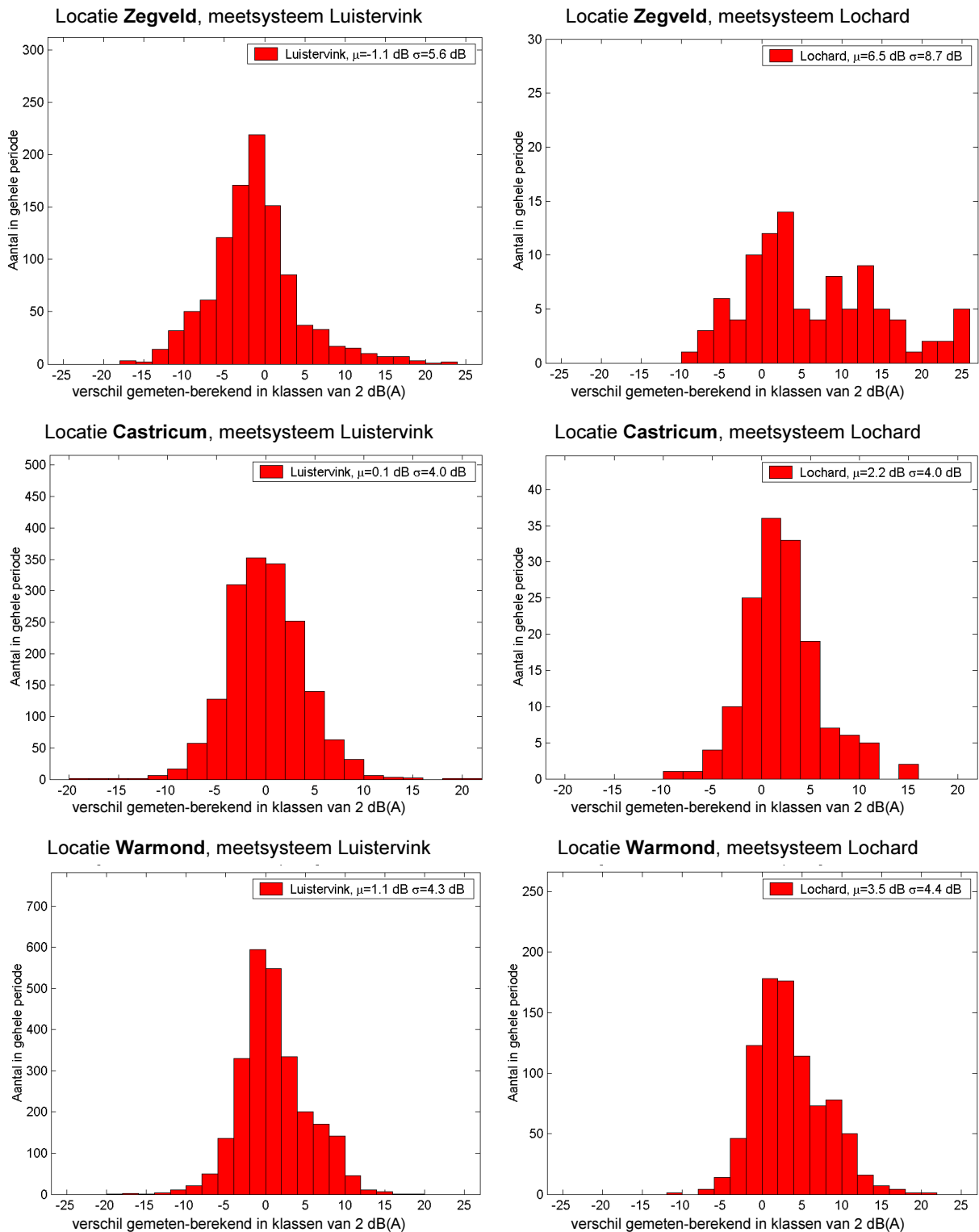
3.4 Luistervink (2002) in vergelijking met FANOMOS

De vergelijking die in paragraaf 3.1 voor 20 NOMOS-metposten is gemaakt tussen meetresultaten en rekenuitkomsten, is op dezelfde wijze ook voor één meetlocatie van het Luistervink-systeem uitgevoerd. Daarvoor is eerst op het niveau van individuele vluchten een koppeling gemaakt tussen de gemeten niveaus L_{Amax} en L_{AX} , die het meetsysteem aan vliegtuigbewegingen heeft toegeschreven¹³, en de op basis van FANOMOS berekende waarden. De koppeling is uitsluitend gebaseerd op overeenkomst tussen het tijdstip waarop L_{Amax} is gemeten en het tijdstip waarop dit niveau volgens de berekeningen ter plaatse van de meetlocatie optreedt. Er is geen koppeling mogelijk op basis van vluchtgegevens (*call sign*) omdat de meetgegevens niet zijn gerelateerd aan radargegevens van de luchthaven.

Figuur 3.15 toont de per dag gemiddelde verschillen (blauw) en de daarbij horende standaarddeviaties (oranje). Elk punt in een figuur representeert één dag (24 uur) van het gebruiksjaar 2002. De meetpost is tussen 19 augustus en 8 oktober niet in bedrijf geweest.

Het gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende waarden L_{Amax} is voor alle dagen groter dan nul (dus er is meer geluid gemeten dan berekend). Net als bij de resultaten van NOMOS geldt dat de gemiddelde verschillen voor L_{AX} kleiner zijn dan voor L_{Amax} en dat er dagen voorkomen waarbij het gemiddelde verschil voor L_{AX} negatief is, dus waarbij de gemeten niveaus op die dag gemiddeld lager zijn dan de berekende.

¹³ Op basis van geluidkenmerken en radiosignalen, zie paragraaf 2.2.



Figuur 3.16: Resultaten van onbemande proefmetingen (CROS) voor 3 meetlocaties in vergelijking met resultaten van FANOMOS-berekeningen: aantallen gemeten vliegtuigpassages als functie van het verschil tussen het gemeten en de berekende geluidniveau L_{AX} .

3.5 Proefmetingen CROS (2005) in vergelijking met FANOMOS

In opdracht van de Commissie Regionaal Overleg Schiphol (CROS) heeft het RIVM, in samenwerking met TNO en NLR, een project uitgevoerd waarin verschillende fabrikanten meetsystemen ter beschikking hebben gesteld voor geluidmetingen¹⁴. Er zijn drie locaties gekozen in de buurt van de L_{den} -contour van 50 dB(A) rond Schiphol: Zegveld (stiltegebied, 23 mei t/m 19 juni 2005), Castricum (27 juni t/m 24 juli 2005) en Warmond (1 augustus t/m 30 augustus 2005). Het doel van het onderzoek is een verkenning van de praktijkmogelijkheden van onbemande meetsystemen. Daarvoor zijn metingen gelijktijdig met twee verschillende meetsystemen uitgevoerd: het Luistervink-systeem en een meetsysteem van de firma Lochard. Beide systemen bestaan uit één microfoon en maken gebruik van software van de firma Sound-Intelligence voor het herkennen van het geluid van vliegtuigen en het signaleren van beïnvloeding van metingen door andere geluidbronnen dan vliegtuigen.

In figuur 3.16 zijn de resultaten van de metingen weergegeven in vergelijking met de resultaten van berekeningen op basis van FANOMOS. Daarvoor zijn gemeten en berekende geluidniveaus van individuele vliegtuigbewegingen aan elkaar gekoppeld op basis van de tijdstippen waarop deze volgens de metingen en de berekeningen plaatsvonden. De figuren laten de aantallen gemeten vliegtuigpassages zien als functie van het verschil tussen het gemeten en berekende geluidniveau L_{AX} . Het verschil is in klassen van 2 dB(A) langs de horizontale as is weergegeven.

In de eerste plaats valt in figuur 3.15 op dat het Luistervink-meetsysteem gedurende dezelfde periode veel meer vliegtuigpassages heeft geregistreerd (die aan met FANOMOS berekende geluidniveaus van vliegbewegingen konden worden gekoppeld) dan het meetsysteem van Lochard. Mogelijk heeft dit te maken met de opstelling van de microfoon in de behuizing van het Luistervink-systeem (zie paragraaf 2.3), waardoor het stoorgeluid uit zijwaartse richting wordt verzwakt en het vliegtuiggeluid van boven al bij lagere niveaus kan worden herkend.

Bij de vergelijking van de meetresultaten van Luistervink met rekenuitkomsten blijkt dat het gemiddelde verschil hiertussen, afhankelijk van de meetlocatie, varieert van -1 dB(A) tot +1 dB(A). De meetresultaten van Lochard laten gemiddelde verschillen zien van 2 dB(A) voor Castricum, 3,5 dB(A) voor Warmond en 6,5 dB(A) voor Zegveld.

¹⁴ RIVM-rapport 680001001/2005: *Praktijkmogelijkheden geluidmetingen luchtvaart in het buitengebied van Schiphol.*

(blanco)

4 Oorzaken van verschillen tussen metingen en berekeningen

4.1 Algemeen

Er kunnen vele oorzaken zijn van verschillen tussen gemeten en berekend vliegtuiggeluid. Vanwege de in ieder rekenmodel noodzakelijke benaderingen en modelleringen van de werkelijkheid en vanwege de technische beperkingen van onbemande meetsystemen om het geluid van vliegtuigen te scheiden van het omgevingsgeluid (door bijvoorbeeld wind, verkeer of bouwwerkzaamheden) is het niet verassend dat er verschillen optreden. Deze paragraaf gaat in op de belangrijkste oorzaken van de verschillen.

4.2 Meetnauwkeurigheid

4.2.1 *Onbemande meetsystemen en metingen onder toezicht*

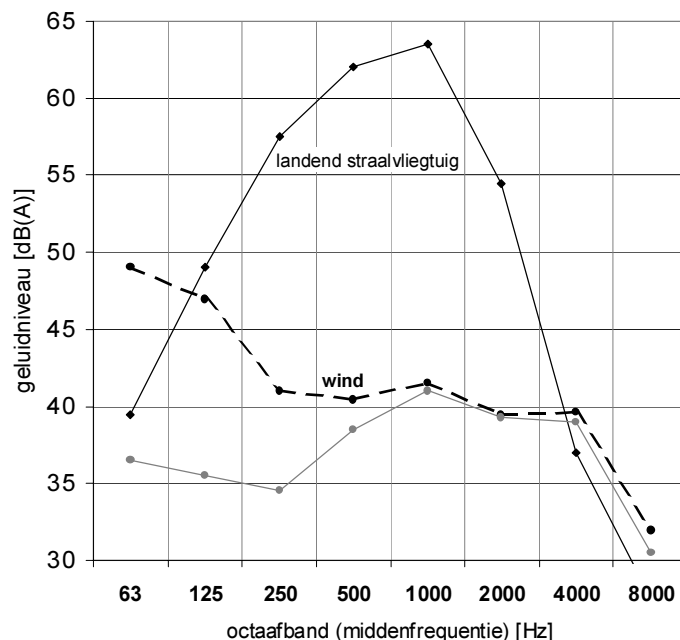
De technische uitdaging bij het meten is het onderscheiden van het geluid van het aan Schiphol gerelateerde vliegverkeer temidden van het geluid van andere geluidbronnen. De onbemande meetsystemen die rond luchthavens zijn opgesteld, zoals NOMOS en Luistervink, proberen het geluid van vliegtuigen temidden van een grote verscheidenheid aan geluiden te *herkennen*. Bij NOMOS wordt de herkenning ondersteund door radargegevens, waaruit blijkt of er een vliegtuig bij de meetpost in de buurt is en zo ja, welk vliegtuig dit is geweest. Achteraf kunnen dan geluiden die ten onrechte als bijdragen tot het vliegtuiggeluid zijn aangemerkt, alsnog worden verworpen. Dit kan zich voordoen omdat de herkenning op basis van alleen het geluidsignaal nooit perfect is en omdat er ook vliegtuiggeluid kan worden waargenomen dat niets met Schiphol te maken heeft.

In het algemeen is niet aan te geven hoe groot de nauwkeurigheid van een onbemand systeem op basis van herkenning zal zijn. De sterkte van het geluid van vliegtuigen ten opzichte van dat van andere geluidbronnen speelt hierbij een rol. Gemiddeld zal de onnauwkeurigheid toenemen naarmate de in een punt te meten geluidbelasting lager is, maar dit gaat niet altijd op. Op de ene plaats, waar relatief weinig vliegtuigen met een hoog geluidniveau de geluidbelasting bepalen, zal de nauwkeurigheid groter zijn dan op een andere plaats, waar dezelfde waarde van de geluidbelasting wordt bereikt met relatief veel, maar minder luidruchtige, vliegtuigpassages.

Bij metingen onder toezicht, op een geschikt gekozen (rustige) locatie en bij rustige weersomstandigheden, is het mogelijk de invloed van stoorgeluid op de (geselecteerde) meetresultaten vrijwel geheel uit te sluiten. Dit geldt voor de metingen die TNO in opdracht van de CDV heeft uitgevoerd op vijf meet-

locaties in 2005. Voor die metingen is er nog wel een onnauwkeurigheid van de apparatuur (het meetsysteem inclusief bekabeling), die door regelmatige ijking zo klein mogelijk wordt gehouden. Deze mogelijke systematische fout van het (geijkte) meetsysteem bedraagt ongeveer 0,5 dB(A). Dit betekent dat op één meetdag de met dezelfde apparatuur uitgevoerde metingen uitkomsten kunnen geven die 0,5 dB(A) te hoog of te laag zijn. Ten opzichte van de verschillen die op sommige plaatsen zijn gevonden tussen gemeten en berekende waarden is die fout klein.

In het vorige hoofdstuk is in figuur 3.8 aangegeven hoe groot het verschil kan zijn tussen de resultaten van onder toezicht uitgevoerde metingen op een rustige locatie in Rijssenhout en de resultaten van de nabij gelegen meetpost 12 van het onbemande meetsysteem NOMOS, die voor wat betreft de invloed van stoorgeluid minder gunstig is opgesteld. NOMOS heeft veel minder vliegtuigpassages kunnen meten, waarschijnlijk omdat deze door stoorgeluid niet zijn herkend. Maar belangrijker is dat van de passages die NOMOS wel heeft gedetecteerd en ook op de rustige locatie zijn gemeten, de resultaten aanzienlijk van elkaar verschillen. Na correctie voor de afstand tussen de meetposities, liggen veel resultaten van NOMOS voor L_{AX} 5 tot 10 dB(A) hoger en voor L_{Amax} zijn de verschillen nog groter. Waarschijnlijk is de belangrijkste oorzaak van deze verschillen dat andere geluidbronnen dan vliegtuigen invloed hebben gehad op de meetresultaten van NOMOS.



Figuur 4.1: Frequentie-spectrum van vliegtuiggeluid (landend straalvliegtuig) en windgeruis (windsnelheid van 8 m/s) bij een standaard meetmicrofoon met een windbol van 95 mm diameter. De onderste lijn geeft het gereduceerde windgeruis bij een grotere windbol met een diameter van 250 mm.

4.2.2 *Stoorgeluid als gevolg van wind*

Bij het onderscheiden van het geluid van vliegtuigen temidden van andere geluidbronnen kan wind een belangrijke rol spelen. Wind veroorzaakt bij standaard meetmicrofoons (met windbol) een achtergrondruis vooral in het lagere frequentiegebied tot 500 Hz, die merkbaar wordt vanaf windsnelheden van 3 m/s (windkracht 2). In figuur 4.1 is een voorbeeld gegeven van het A-gewogen frequentiespectrum bij een passerend straalvliegtuig, in vergelijking met het achtergrondgeluid, veroorzaakt door luchtstroming met een snelheid van ongeveer 8 m/s (windkracht 4 tot 5) rond een microfoon, voorzien van een windbol met een diameter van 9,5 cm.

Om windgeruis te onderdrukken kan een grote windbol worden toegepast. Ook helpt het natuurlijk om de microfoon op een beschutte plaats op te stellen. Bij de onder toezicht uitgevoerde metingen is gekozen voor een microfoonopstelling boven een harde plaat die direct op de grond ligt. Aangezien het dicht boven de grond minder waait dan op grotere hoogte, hebben de metingen bij deze opstelling minder last van windgeruis. De nieuwste meetopstelling van Luistervink maakt gebruik van het principe van een zeer grote ‘windbol’, doordat de microfoon in een 0,6 m hoge open kist ligt (oppervlak 2,5 bij 2,5 m, aan de bovenzijde voorzien van gaasdoek), gevuld met geluidabsorberend materiaal¹⁵.

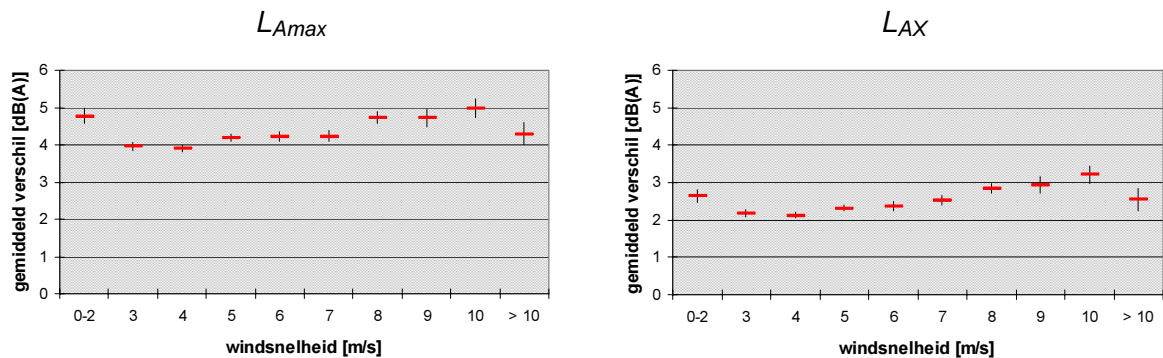
De meetresultaten uit 2002 van de oudere meetpost in Assendelft zijn niet via deze meetopstelling verkregen. Wel is deze meetpost uitgerust met een windsnelheidsmeter en zijn de gegevens daarvan gebruikt om onbetrouwbare metingen als gevolg van wind tijdens de meting uit de resultaten weg te laten. Dat dit goed heeft gewerkt blijkt uit figuur 4.2. Het gemiddelde verschil tussen gemeten geluidniveaus van vliegtuigpassages in Assendelft (gebruiksjaar 2002) en de berekende geluidniveaus is hier uitgezet tegen de gemiddelde windsnelheid op de betreffende meetdag. Als windgeruis de meetresultaten heeft beïnvloed, is de verwachting dat de bijdrage van windgeruis in de gemeten geluidniveaus groter wordt met toenemende windsnelheid, en dat dus ook het verschil met de berekende niveaus toeneemt. Tot en met windsnelheden van 10 m/s lijkt dit niet het geval te zijn¹⁶.

Bij de gemiddelde verschillen per dag tussen de door NOMOS gemeten en de berekende waarden L_{AX} zien we in de figuren 4.3 t/m 4.6 bij een aantal meetposten wel een toename van het verschil met toenemende windsnelheid vanaf 6 m/s. Het duidelijkst is dit bij de resultaten van starts bij de meetposten 8, 12, 15, 16, 17 en 18 en de resultaten van landingen bij de meetposten 5, 6, 18, 19

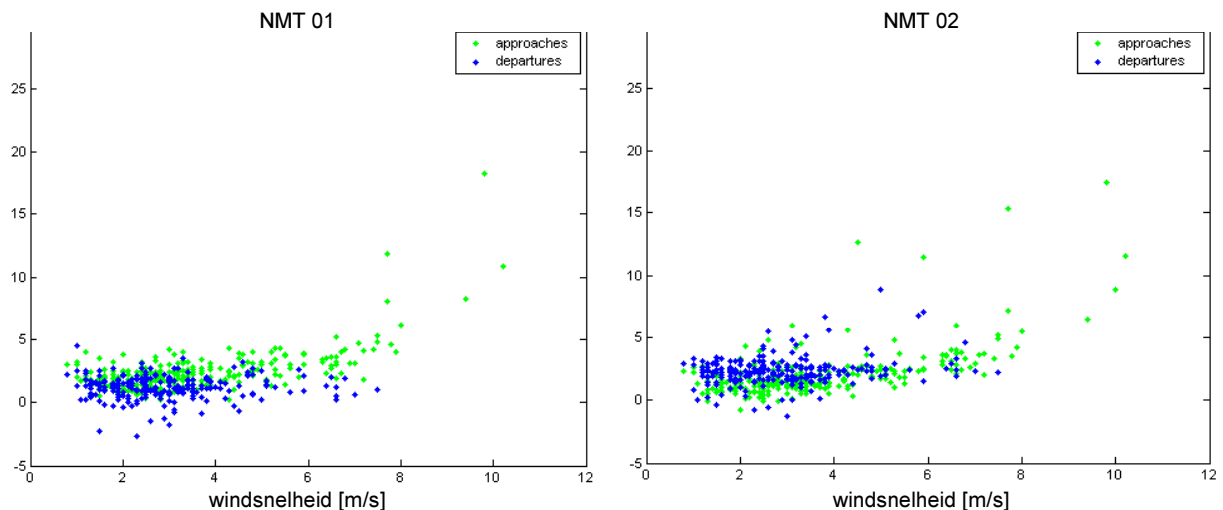
¹⁵ De open verbindingen tussen de poriën van het geluidabsorberende materiaal zorgen voor een akoestisch filter, dat de hogere frequenties van het geluid (ook vliegtuiggeluid) onderdrukt. Dit hoeft niet bezwaarlijk te zijn, wanneer de onderdrukking in het voor vliegtuiggeluid relevante frequentiegebied niet significant is.

¹⁶ Voor hogere windsnelheden zijn er te weinig meetgegevens. In het gebruiksjaar 2002 was de gemiddelde windsnelheid meer dan 10 m/s op slechts 19 van de 365 dagen.

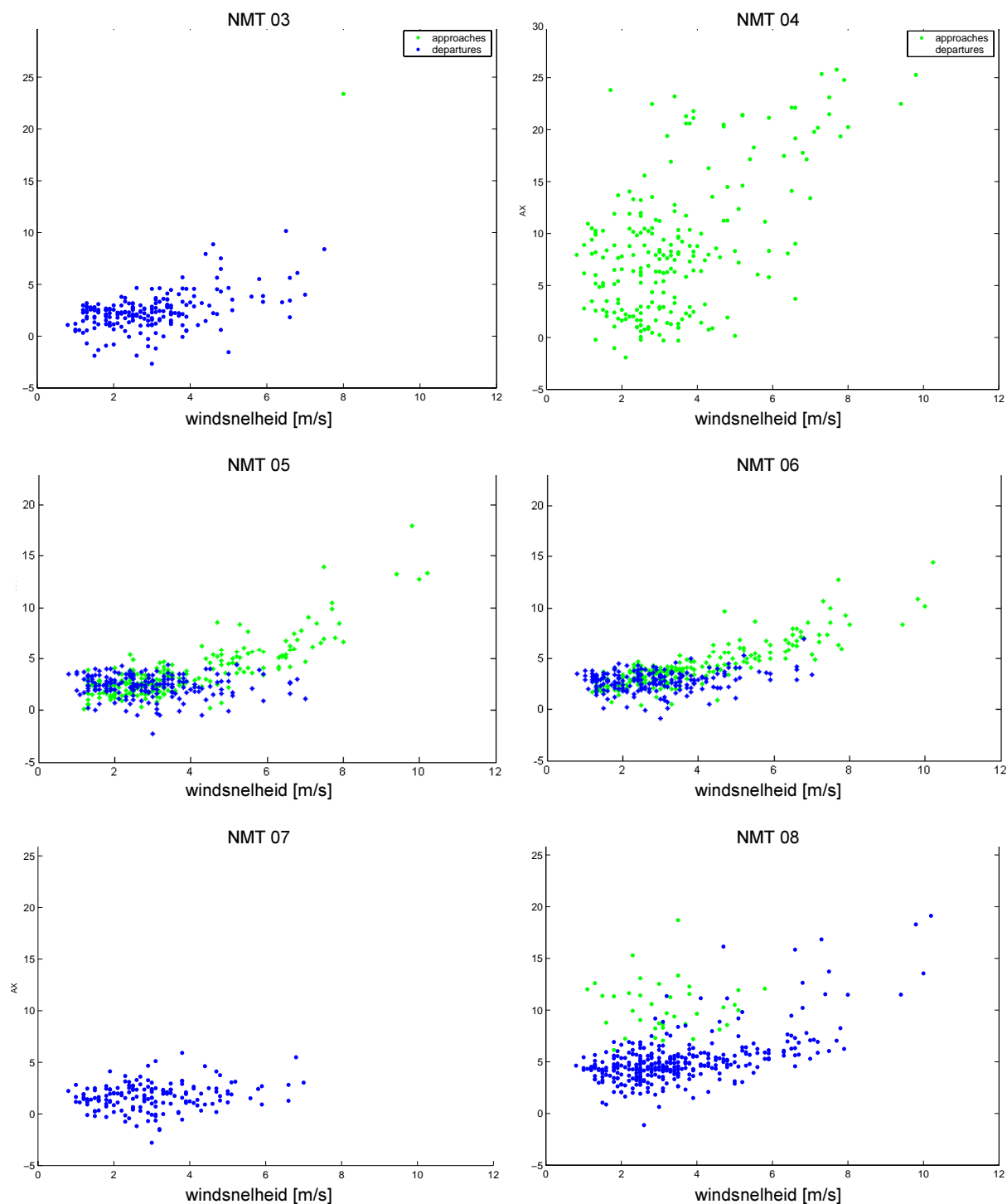
en 20. Waarschijnlijk is de oorzaak dat de NOMOS-meetposten door de hoge microfoonopstelling gevoelig zijn voor windgeruis. Op plaatsen waar vliegtuigen relatief lage geluidsniveaus veroorzaken, is de invloed van wind eerder merkbaar. Ook kan bij landingen een rol spelen dat vliegtuigen bij harde wind op sommige momenten meer motorvermogen nodig hebben om de vliegprocedure uit te kunnen voeren en daardoor meer geluid produceren. Dit komt verder aan de orde in paragraaf 4.4.



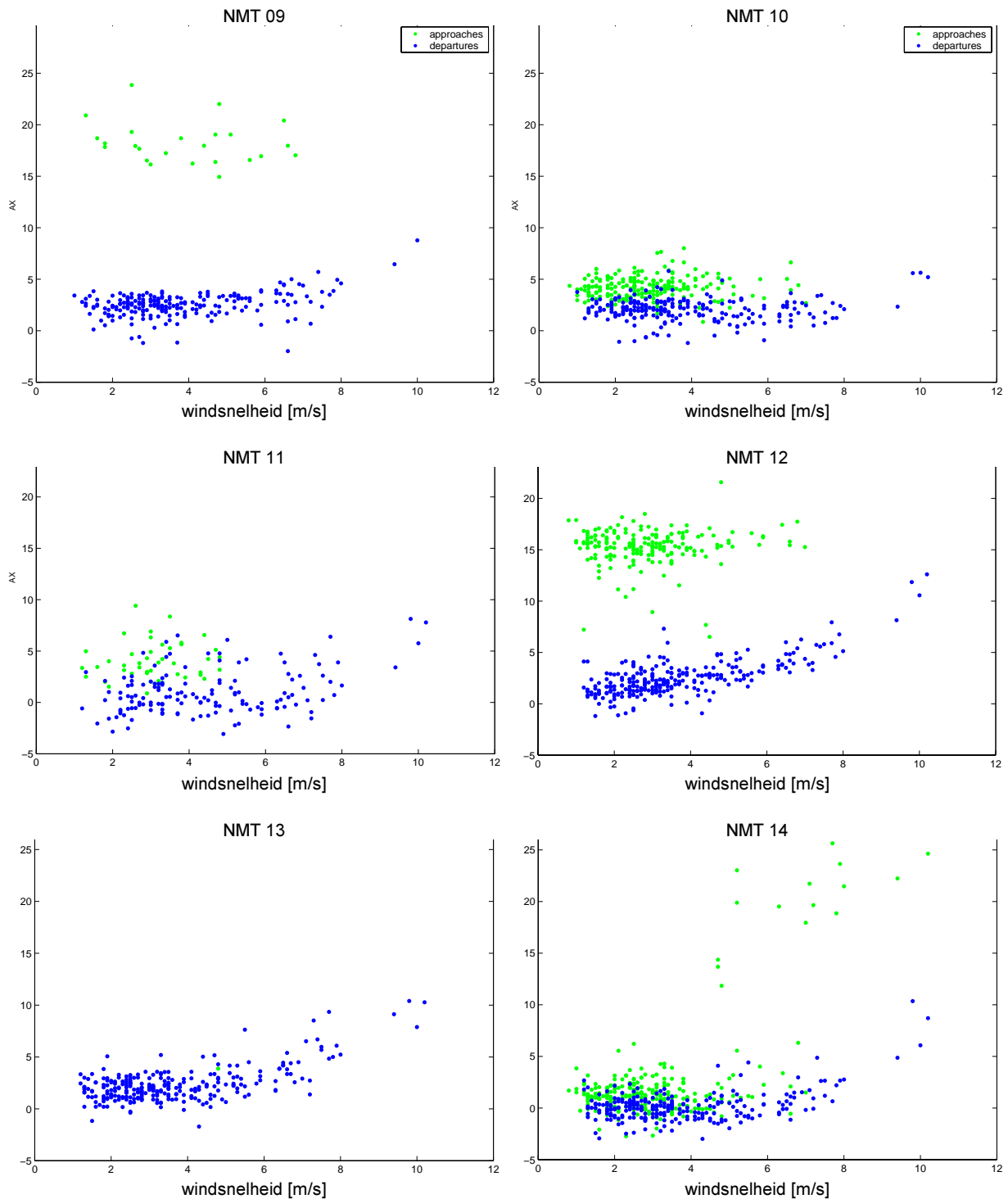
Figuur 4.2: Gemiddelde verschillen met 95%-betrouwbaarheidsinterval, tussen de gemeten geluidsniveaus (L_{Amax} en L_{AX}) van de Luistervink-meetpost Assendelft en de berekende geluidsniveaus (FANOMOS) per vliegtuigpassage, als functie van de gemiddelde windsnelheid op de dag van de meting.



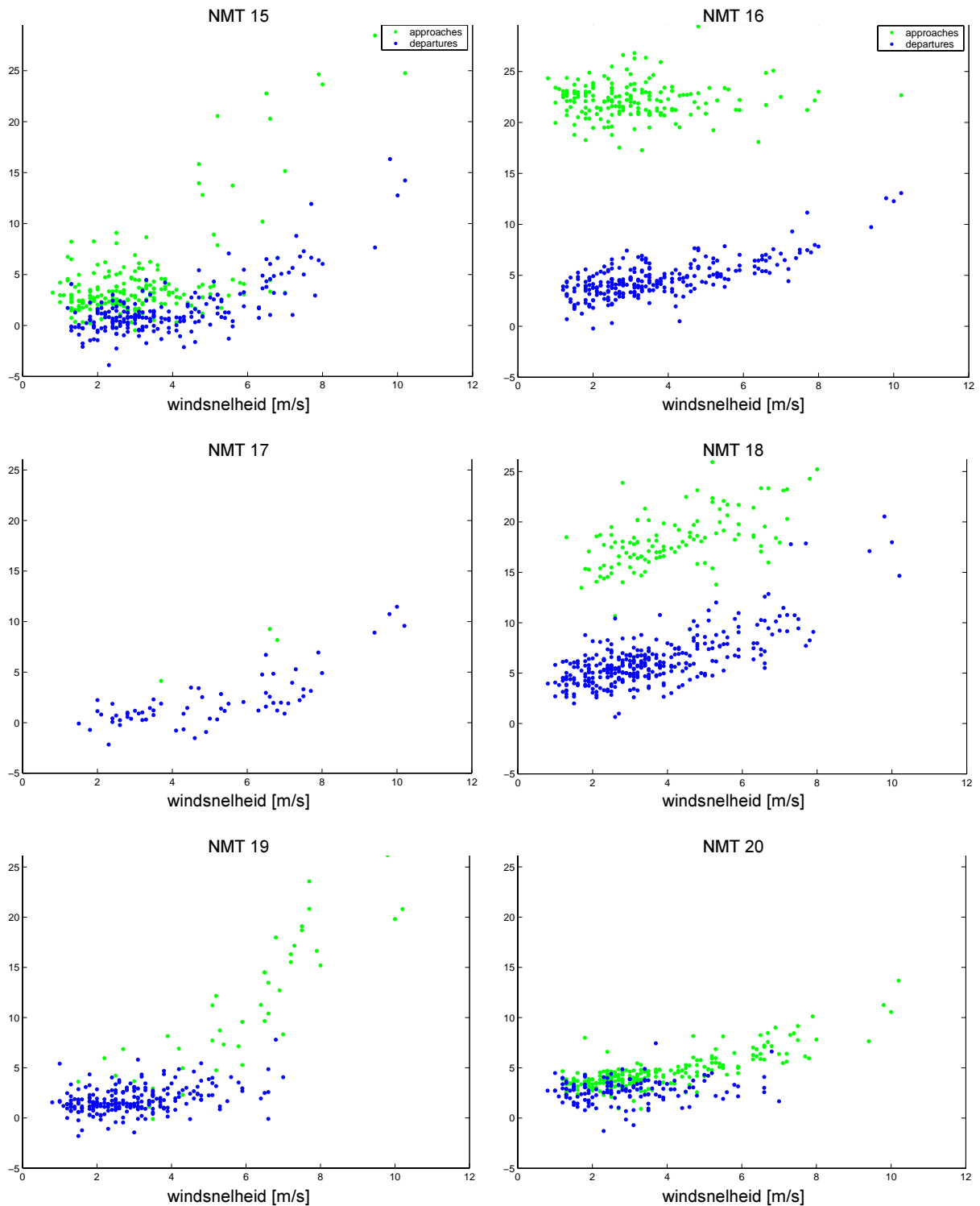
Figuur 4.3: Gemiddelde verschillen per dag in dB(A) tussen de gemeten geluidsniveaus L_{AX} van de NOMOS-meetposten 1 en 2 en de berekende geluidsniveaus (FANOMOS) per vliegtuigpassage, als functie van de gemiddelde windsnelheid op de dag van de meting, met onderscheid naar landingen (groen) en starts (blauw).



Figuur 4.4: Gemiddelde verschillen per dag in dB(A) tussen de gemeten geluidniveaus L_{AX} van de NOMOS-meetposten 3 t/m 8 en de berekende geluidniveaus (FANOMOS) per vliegtuigpassage, als functie van de gemiddelde windsnelheid op de dag van de meting, met onderscheid naar landingen (groen) en starts (blauw).



Figuur 4.5: Gemiddelde verschillen per dag in dB(A) tussen de gemeten geluidniveaus L_{AX} van de NOMOS-maatposten 9 t/m 14 en de berekende geluidniveaus (FANOMOS) per vliegtuigpassage, als functie van de gemiddelde windsnelheid op de dag van de meting, met onderscheid naar landingen (groen) en starts (blauw).



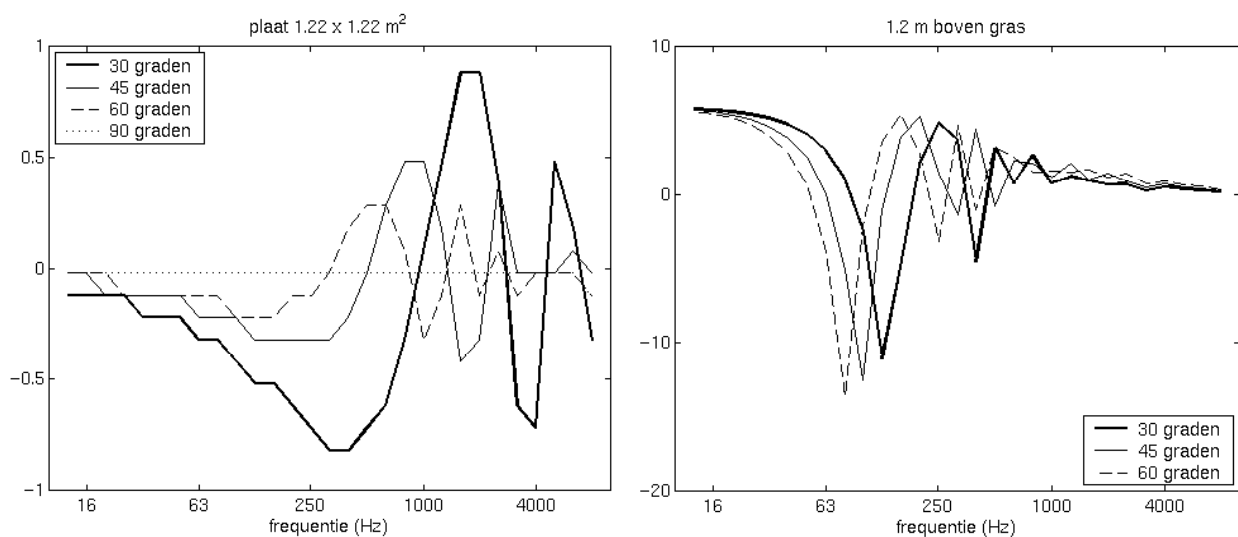
Figuur 4.6: Gemiddelde verschillen per dag in dB(A) tussen de gemeten geluidniveaus L_{AX} van de NOMOS-meetposten 15 t/m 20 en de berekende geluidniveaus (FANOMOS) per vliegtuigpassage, als functie van de gemiddelde windsnelheid op de dag van de meting, met onderscheid naar landingen (groen) en starts (blauw).

4.3 Invloed van de meetopstelling

4.3.1 Metingen onder toezicht

In paragraaf 2.4 is bij de benaderingen en modelleringen in het rekenmodel aangegeven dat de berekeningen gebaseerd zijn op een ‘standaard’-situatie, waarbij het waarneempunt zich bevindt op 1,2 tot 1,9 m hoogte boven een vlakke, met gras begroeide bodem in een onbebouwde omgeving. De invloed van afscherming of reflectie van geluid door obstakels wordt in de berekeningen dus buiten beschouwing gelaten.

Bij de onder toezicht uitgevoerde metingen is de standaardsituatie zo goed mogelijk nagebootst. Dat is niet eenvoudig, want de akoestische eigenschappen van het bodemvlak onder de microfoon hebben altijd invloed op de meetresultaten en voor het ene of het andere “grasland” zal die invloed nooit precies hetzelfde zijn. Ook van dag tot dag kan de invloed op dezelfde plaats verschillen, bijvoorbeeld door een natte bodem op de ene en een droge bodem op de andere dag. Wat de bodeminvloed op een bepaalde plaats en op een bepaald moment is, kan niet op een eenvoudige manier nauwkeurig worden vastgesteld. Er is daarom gekozen voor een meetopstelling met een bodem die afwijkt van de representatieve bodem van het rekenmodel, maar waarvan de invloed beter bekend is, zodat hiervoor kan worden gecorrigeerd. Het membraan van de microfoon is daarbij naar beneden gericht op een afstand van 5 mm van een harde plaat van 1,2 bij 1,2 m (figuur 2.2).



Figuur 4.7: Bodemeffect in dB als functie van de frequentie bij een harde plaat van 1,2 x 1,2 m² (links, na aftrek van 6 dB) en bij een microfoon op 1,2 m hoogte boven grasland (rechts), bij verschillende elevatiehoeken. (Let op het verschil in de schaal van de verticale as.)

Bij een harde bodem is de invloed van het bodemvlak exact bekend: de gemeten geluidniveaus zijn 6 dB hoger (in het gehele frequentiegebied) dan in de denkbeeldige situatie waarin er geen bodem onder de microfoon is (of waarin de afstand tussen de microfoon en de bodem heel groot is). Voor de representatieve bodem van grasland en een microfoonhoogte van 1,2 tot 1,9 m is de invloed van de bodem gemiddeld +1,5 dB(A)¹⁷. Om de metingen goed te kunnen vergelijken met berekeningen is dus een correctie van -4,5 dB(A) nodig voor de boven de harde plaat gemeten geluidniveaus.

Strikt genomen geldt de correctie van 4,5 dB(A) alleen voor metingen boven een harde bodem van oneindige afmetingen. Uit figuur 4.7 (links) blijkt dat bij een harde bodem van 1,2 bij 1,2 m frequentie-afhankelijke randeffecten optreden, die toenemen als de elevatiehoek (de hoek met het bodemvlak waaronder het vliegtuig vanuit het meetpunt wordt gezien) kleiner wordt. Bij elevatiehoeken groter dan 30° ligt het effect voor het gehele frequentiegebied binnen een marge van 1 dB en is het effect gemiddeld over het frequentiespectrum (A-gewogen) kleiner dan 0,5 dB(A). De mogelijke fout bij de omrekening van de meetresultaten boven de harde plaat naar meetresultaten boven een representatieve bodem is dus 0,5 dB(A), mits de elevatiehoek groter is dan 30°.

Bij de meetlocaties in Rijssenhout en Haarlemmerliede is de elevatiehoek slechts 10° en ontstaat bij de omrekening van de meetresultaten volgens de bovenstaande wijze een grotere onzekerheid. De harde plaat zou veel groter moeten zijn om deze onzekerheid binnen een marge van 0,5 dB(A) terug te brengen. Daarom zijn voor deze meetlocaties de meetresultaten gebruikt van een microfoon op 1,5 m hoogte boven vlak grasland (een voetbalveld in Rijssenhout en een weiland in Haarlemmerliede), waarmee de standaardsituatie van het rekenmodel zo goed mogelijk wordt benaderd.

4.3.2 *NOMOS en Luistervink*

De opstellingen van de meetposten van NOMOS en Luistervink wijken af van de standaardsituatie waar het rekenmodel vanuit gaat. De microfoons van NOMOS staan op veel plaatsen in een bebouwde omgeving op een 10 m hoge mast. De invloed van de bodem is dan kleiner dan waar het rekenmodel vanuit gaat. Daarnaast kan op sommige locaties ook de invloed van afscherming of reflectie van geluid door gebouwen een rol spelen. De correctie die nodig is om de meetresultaten van NOMOS te vertalen naar de standaardsituatie van het rekenmodel is niet exact aan te geven, maar ligt naar schatting voor de meeste meetposten tussen -3 en +3 dB(A).

¹⁷ De invloed is afhankelijk van de plaats van de geluidbron ten opzichte van de microfoon. De gemiddelde invloed is berekend met een geluidstralenmodel van TNO (TOMAS), waarbij is uitgegaan van een stromingsweerstand van 200 kPa s/m², het impedantiemodel van Delany&Bazley en het diffractiemodel van Hadden&Pierce.

De meetposten van Luistervink (en ook enkele van NOMOS) zijn opgesteld op daken van gebouwen, waar de invloed van afscherming of reflectie van vliegtuiggeluid tegen verticale vlakken waarschijnlijk geen rol zal spelen. De nieuwe meetposten van Luistervink maken gebruik van een behuizing waarin de microfoon temidden van geluidabsorberend materiaal is ondergebracht. Ook hiermee wordt de bodeminvloed genormaliseerd, maar op een andere wijze dan bij de methode met de harde plaat: de gemeten geluidniveaus zijn nu juist lager dan in de standaardsituatie met de microfoon boven de representatieve bodem. In plaats van een negatieve correctie van -4,5 dB(A) moet er dan een positieve correctie worden toegepast, van naar schatting +1 dB(A).

De microfoonopstelling is niet alleen belangrijk bij de vergelijking tussen meet- en rekenuitkomsten, maar ook bij de vergelijking tussen resultaten van verschillende meetsystemen. Bij de proefmetingen van de CROS (paragraaf 3.5) is het niet verwonderlijk dat het systeem van Lochard, met een microfoon boven een hard oppervlak (dak van een gebouw), gemiddeld hogere meetresultaten geeft dan het systeem van Luistervink. In figuur 3.16 zijn alleen de resultaten van Luistervink met +1 dB(A) gecorrigeerd voor het verschil in microfoonopstelling met de standaardsituatie. Voor de microfoonopstelling van Lochard zou de correctie -1 dB(A) tot -2 dB(A) kunnen bedragen omdat boven een hard vlak wordt gemeten. Dan is er voor de locaties in Castricum en Warmond geen significant verschil tussen de gemiddelde resultaten van de twee meetsystemen.

4.4 Gemodelleerde vliegprocedures en vliegtuigcondities

4.4.1 Model en werkelijkheid

Voor de berekeningen zijn gemodelleerde vliegprocedures in zogenoemde prestatietabellen vastgelegd. Bij ieder vliegtuigtype, vliegprocedure en startgewicht geeft een prestatietabel aan hoe de hoogte, snelheid en stuwkracht verloopt met de afgelegde weg vanaf de start of met de nog af te leggen weg tot de landing. Als een vlucht in werkelijkheid anders verloopt dan volgens het model, zal ook het geluid dat op de grond wordt veroorzaakt anders zijn dan wordt berekend.

In de praktijk spelen de volgende afwijkingen van de gemodelleerde vliegprocedures een rol:

- Bij naderingen is de motorregeling (de stuwkracht) aan meer variaties onderhevig dan in de berekeningen wordt aangenomen of vindt een verandering van de stuwkracht op een ander moment van de vlucht plaats, dan waar het rekenmodel vanuit gaat. Ook het moment waarop het onderstel en de vleugelkleppen worden uitgeslagen kan per vliegtuigpassage variëren.
- Het model houdt geen rekening met de verandering in geluidproductie van vliegtuigen als gevolg van een verandering van vliegtuiginstellingen die nodig is voor het maken van bochten.

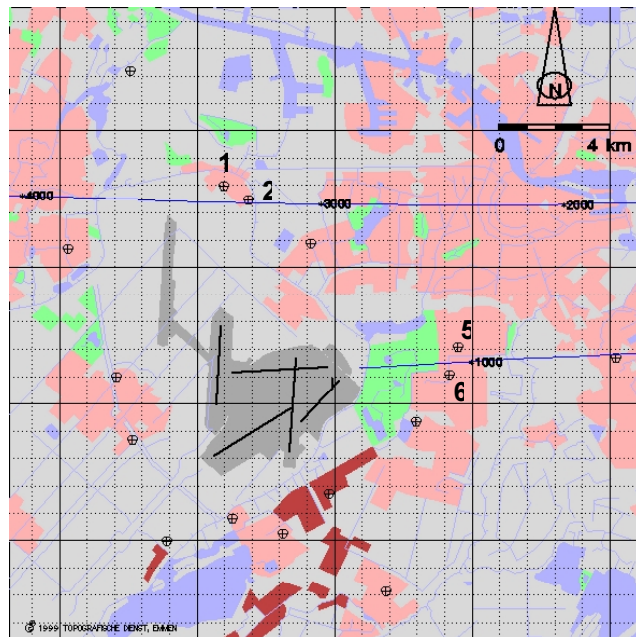
- Bij starts hebben windsnelheid, windrichting en temperatuur invloed op de relatie tussen het hoogteprofiel en de stuwkracht. Bij sommige weersomstandigheden zal een vliegtuig met de in een prestatietabel aangegeven stuwkracht sneller stijgen en bij andere omstandigheden juist minder snel stijgen dan volgens het hoogteprofiel horend bij die prestatietabel.
- Vliegtuigen krijgen van de luchtverkeersleiding instructies om de luchthaven op een bepaalde hoogte te naderen. Op grotere afstand van de luchthaven is die hoogte vaak aanzienlijk lager dan in de berekeningen wordt aangenomen.

Voor het onderzoek naar verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus waren geen gegevens beschikbaar over de vliegtuigcondities (instellingen van motoren en kleppen) tijdens de betreffende, in werkelijkheid uitgevoerde vluchten. Het is daarom niet mogelijk om precies aan te geven hoe groot de twee eerst genoemde verschillen tussen model en werkelijkheid zijn en welke invloed die hebben op de geluidproductie van de vliegtuigen. Gegevens over de vlieghoogte tijdens de uitgevoerde vluchten zijn wel beschikbaar.

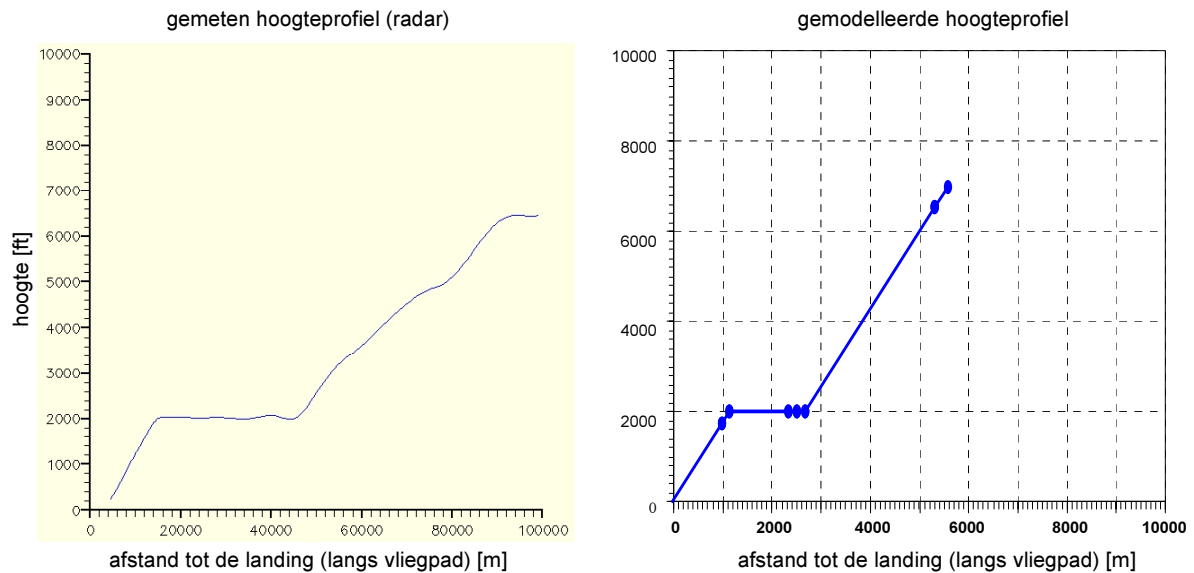
4.4.2 *Vlieghoogte bij NOMOS-metposten 1 en 2*

De vergelijking tussen de resultaten van NOMOS en de rekenuitkomsten in paragraaf 3.1 heeft laten zien dat voor sommige meetposten het per dag gemiddelde verschil tussen gemeten en berekende geluidniveaus over een jaar weinig varieert. De meetposten 1 en 2 zijn hiervan een voorbeeld. De verschillen zijn hier bovendien relatief klein, evenals de standaarddeviatie van het per dag gemiddelde verschil. Er zijn echter enkele uitzonderlijke dagen, waarop bij zowel meetpost 1 als meetpost 2 een gemiddeld verschil van meer dan 10 dB(A) is vastgesteld. Dit zijn 28 december, 28 januari en 9, 11 en 23 februari. Op die dagen blijkt er sprake te zijn geweest van wind met een sterke westelijke component, waardoor vliegtuigen die vanuit westelijke richting Schiphol naderden om te landen, ten noorden van de luchthaven langs moesten vliegen om vervolgens na een bocht van 180° vanuit het oosten te landen op de Buitenveldertbaan. Vliegtuigen passeerden de meetpunten 1 en 2 daarbij niet zoals gebruikelijk in de richting van noord naar zuid of omgekeerd (bij gebruik van de Zwanenburgbaan) maar in de richting van west naar oost, zoals aangegeven in figuur 4.8.

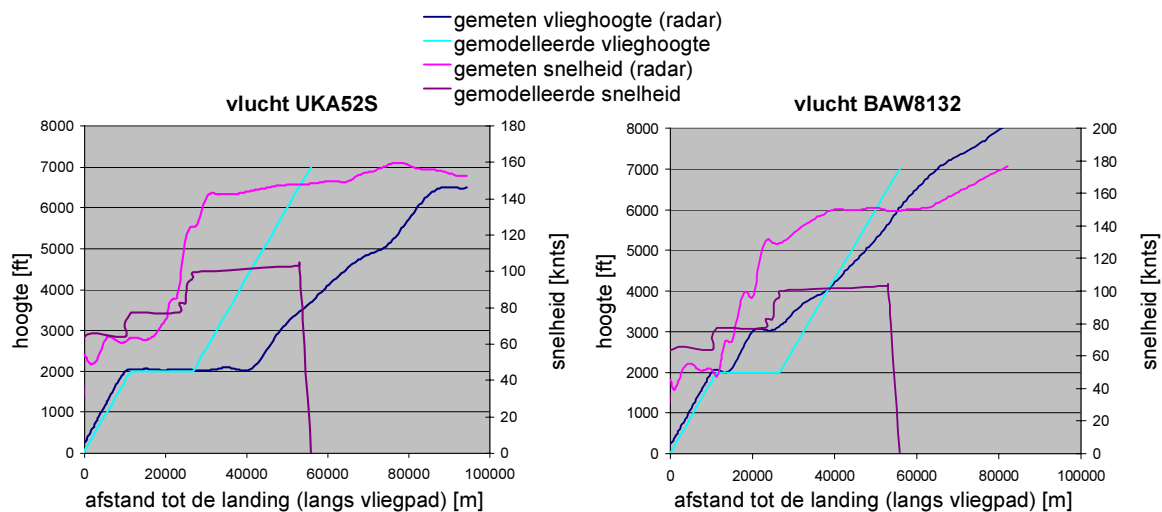
Van één van deze vluchten zijn in tabel 4.1 de verschillen gegeven tussen de gemeten en berekende geluidniveaus voor de meetposten 1, 2 en 5. Het betreffende toestel (Fokker 100, nadering op 2000 ft) is dicht langs de meetposten 1 en 2 gevlogen en passeerde vlak voor de landing ook de meetposten 5 en 6.



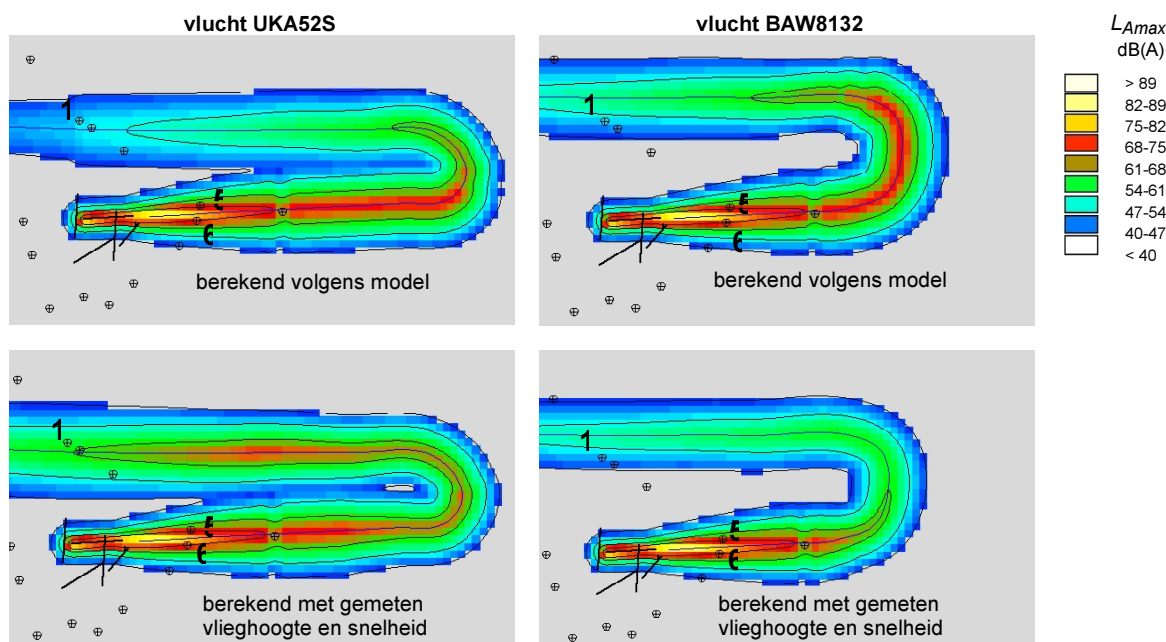
Figuur 4.8: Route (in blauw) van vlucht UKA52S, 28 december 2001, 14:42 uur, Fokker 100 (categorie S33), nadering 2000 ft (vliegprocedure 1000) op baan 27 (Buitenveldertbaan), met NOMOS-meetpunten (1, 2, 5 en 6).



Figuur 4.9: Hoogte van vlucht UKA52S uit figuur 4.8, zoals gemeten door radar (links) en volgens het gemodelleerde hoogteprofiel in de geluidberekeningen (rechts), als functie van de nog af te leggen weg tot de landing (gemeten langs het vliegpad).



Figuur 4.10: Gemodelleerde vlieghoogte en snelheid ten behoeve van de berekeningen in vergelijking met de gemeten vlieghoogte en snelheid voor twee vluchten op 28 december 2001.

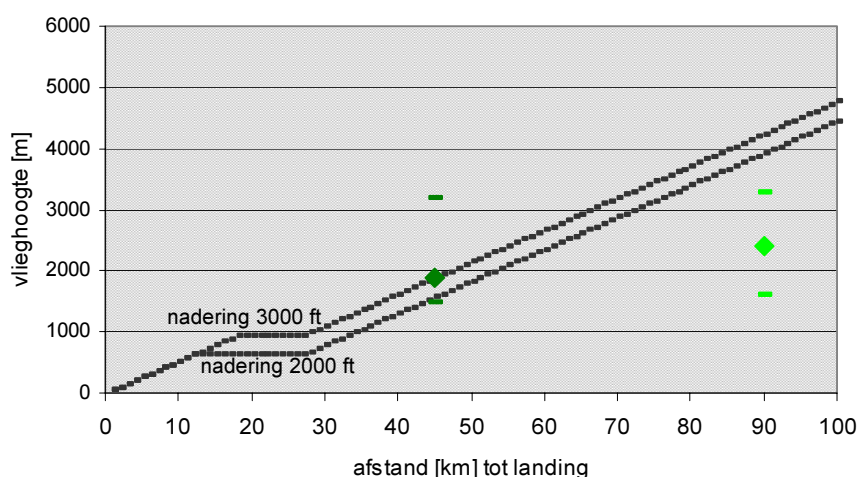


Figuur 4.11: Geluidniveau L_{Amax} langs de projectie van het vliegpad op de grond, berekend met het gemodelleerde hoogte- en snelheidsprofiel (boven) en berekend op basis van de in werkelijkheid gemeten hoogte en snelheid (onder) voor de twee vluchten van figuur 4.10. De punten en nummers in de figuren geven de plaats aan van de NOMOS-metposten.

NMT nr.	L_{Amax} [dB(A)]			L_{AX} [dB(A)]		
	gemeten	berekend	verschil	gemeten	berekend	verschil
1	80,9	47,3	33,6	86,4	61,5	24,9
2	81,8	48,9	32,9	88,4	62,8	25,6
5	80,8	67,9	12,9	92,9	79,9	13,0

Tabel 4.1: Gemeten geluidniveaus van vlucht UKA52S op 28 december 2001 (nadering op 2000 ft van Fokker 100 op Buitenveldertbaan, zie figuur 4.8) door NOMOS-meetposten 1, 2 en 5 in vergelijking met berekende geluidniveaus (FANOMOS).

De berekeningen in FANOMOS zijn gebaseerd op het gemodelleerde hoogteprofiel van vliegprocedure 1000, waarbij het toestel eerst daalt om op ca. 27 km van de baan (gemeten langs het vliegpad) op een hoogte van 2000 ft uit te komen, dan op deze hoogte verder vliegt en op ongeveer 1 km van de baan de laatste daling inzet op ILS (met 3° daalhoek). In figuur 4.9 is dit gemodelleerde hoogteprofiel naast het werkelijk gevlogen hoogteprofiel (zoals gemeten door radar) weergegeven. Beide zien er op het eerste gezicht hetzelfde uit, maar bij nadere beschouwing blijkt het toestel in werkelijkheid al op 48 km van de baan (gemeten langs het vliegpad) op 2000 ft hoogte de *level flight* te hebben ingezet, in plaats van op 27 km afstand. Daardoor heeft het toestel de meetpunten 1 en 2 op veel lagere hoogte gepasseerd, dan waar de berekeningen vanuit zijn gegaan. Ook bij andere vluchten op de vijf genoemde dagen met westenwind blijkt dit het geval te zijn geweest.



Figuur 4.12: Vlieghoogte bij landingsprocedures met nadering op 2000 ft en 3000 ft, zoals aangenomen in het rekenmodel, en de gemiddelde, maximum en minimum vlieghoogte in Rijswijk van passerende vliegtuigen tijdens de metingen in november 2005 (paragraaf 3.2.4) bij landingen op de Kaagbaan (ongeveer 45 km afstand tot de landing) en landingen op de Polderbaan of Zwanenburgvaan (ongeveer 90 km afstand).

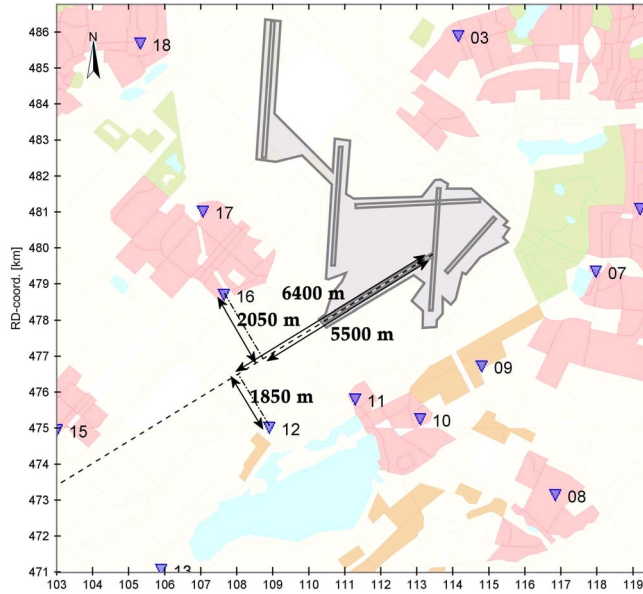
Voor vijf vluchten op 28 december is opnieuw het geluidniveau L_{Amax} bij meetpost 1 berekend met het werkelijk gevlogen hoogteprofiel, waarop ook het snelheidsprofiel is aangepast. Voor de vlucht UKA52S van 14:42 uur (figuur 4.9) wordt de berekende waarde van L_{Amax} dan ruim 10 dB(A) hoger, maar blijven de verschillen, 23 dB(A) met de gemeten waarde voor L_{Amax} en 17 dB(A) voor L_{AX} , groot. Bij andere vluchten heeft het rekenen met het werkelijke hoogte- en snelheidsprofiel een veel kleiner effect van 3 tot 4 dB(A).

Bij één vlucht, BAW8132, neemt het verschil tussen de gemeten en berekende waarde zelfs nog toe van 36 naar 37 dB(A). Dit komt omdat hier de werkelijke vlieghoogte bij het passeren van meetpunt 1 groter was dan de hoogte waarop de berekeningen zijn gebaseerd. Zie de twee voorbeelden in figuur 4.10. In figuur 4.11 is bij deze voorbeelden het geluid langs de projectie van het vliegpad op de grond weergegeven, zoals wordt berekend met het gemodelleerde hoogte- en snelheidsprofiel en op basis van het werkelijke hoogte- en snelheidsverloop.

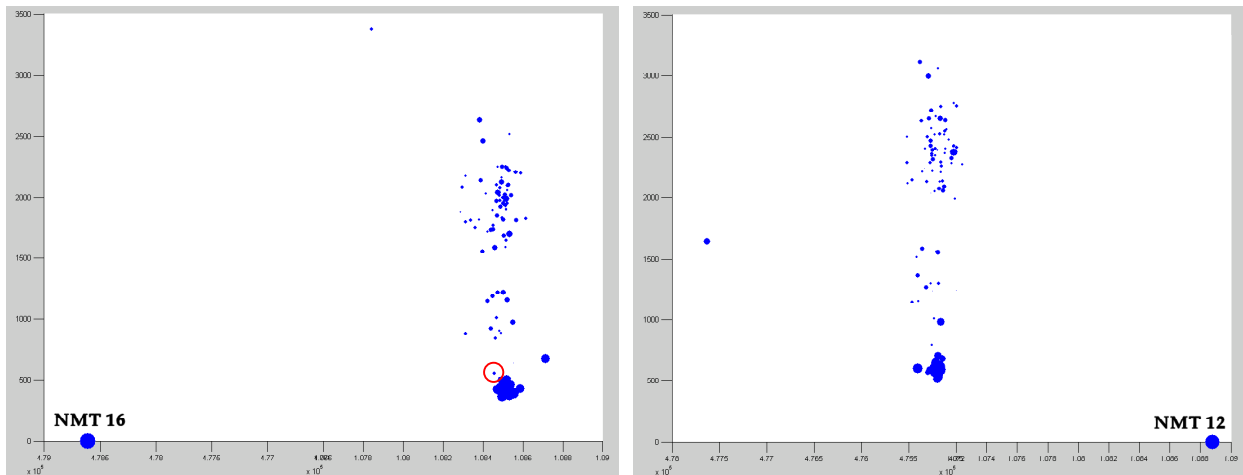
4.4.3 *Vlieghoogte bij metingen in Rijswijk*

Ook bij een van de meetlocaties van de metingen onder toezicht is gebleken dat de afwijking tussen de vlieghoogte die in het rekenmodel wordt aangenomen en de werkelijke vlieghoogte een rol speelt bij de geconstateerde verschillen tussen de gemeten en berekende geluidniveaus. Het gaat in Rijswijk om landende vliegtuigen die de route naar de Kaagbaan (06) volgen of eerst ten westen van Schiphol langs vliegen om vanuit noordelijke richting te landen op de Polderbaan (18R) of Zwanenburgbaan (18C). In het eerste geval is de af te leggen weg tot de landing ter hoogte van de meetlocatie ongeveer 45 km en in het tweede geval ongeveer 90 km. In figuur 4.12 is de gemodelleerde hoogte als functie van de nog af te leggen weg tot de landing weergegeven, die het rekenmodel hanteert voor landingsprocedures met nadering op 2000 ft (ongeveer 650 m) en 3000 ft (ongeveer 1000 m). In de figuur is ook aangegeven wat de minimum, maximum en gemiddelde vlieghoogte was van de vliegtuigen die Rijswijk tijdens de metingen zijn gepasseerd, zowel voor landingen op de Kaagbaan (waarbij de nog af te leggen afstand vanaf het meetpunt tot de landing ongeveer 45 km bedraagt) en voor landingen vanuit het noorden (90 km afstand).

Figuur 4.12 geeft een verklaring voor het feit dat de in figuur 3.12 getoonde verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus voor vliegtuigen die landen op de Polderbaan of Zwanenburgbaan groter zijn dan voor vliegtuigen die landen op de Kaagbaan. In het eerste geval is de vlieghoogte waar het rekenmodel vanuit gaat bijna een factor twee hoger dan de gemiddelde hoogte die in werkelijkheid wordt aangehouden, terwijl bij landingen op de Kaagbaan de vlieghoogte van het model in de buurt van het gemiddelde ligt. Dat ook in het laatste geval regelmatig verschillen in de orde van 10 dB(A) optreden tussen gemeten en berekende geluidniveaus kan niet worden verklaard door een verschil tussen werkelijke en gemodelleerde vlieghoogte.



Figuur 4.13: NOMOS-meetpunten 12 en 16 aan weerszijden van het vliegpad in het verlengde van de Kaagbaan.



Figuur 4.14: Posities van de passerende vliegtuigen ten opzichte van NOMOS-meetposten 12 en 16 (hoogte in ft), weergegeven in het verticale vlak loodrecht op het vliegpad (in het verlengde van de Kaagbaan, zie figuur 4.13). Elke stip representeert één vlucht, waarbij de grootte van de stip correspondeert met de grootte van het verschil tussen het gemeten en berekende geluidniveau voor die vlucht.

4.4.4 *Vlieghoogte van starts en landingen bij NOMOS-meetposten 12 en 16*

Bij de NOMOS-meetposten 12 en 16 is geconstateerd dat het gemiddelde verschil tussen gemeten en berekende geluidniveaus van dag tot dag sterk varieert. De meetposten liggen aan weerszijden van het verlengde van de Kaagbaan; zie figuur 4.13.

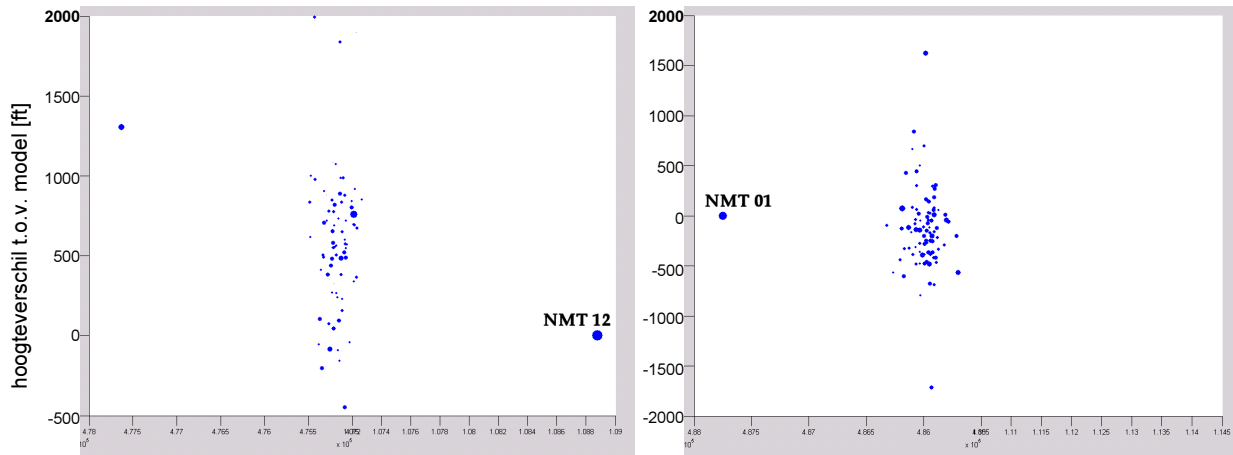
In figuur 4.14 zijn twee verticale vlakken weergegeven die het vliegp pad doorsnijden ter plaatse van respectievelijk de meetposten 12 en 16. De vlakken liggen parallel met de lijn loodrecht op het vliegp pad naar het meetpunt.

In de vlakken is aangegeven op welke plaats en hoogte ten opzichte van de meetpunten de vliegtuigen passeren. Hiervoor is één dag gekozen, 2 oktober 2002. Elke stip in het vlak representeert één vlucht. De grootte van de stip geeft aan hoeveel het gemeten geluidniveau L_{Amax} van de vlucht verschilt van het berekende niveau. De grote verschillen corresponderen met landende vliegtuigen die overkomen op ongeveer 500 ft bij meetpunt 12 en 400 ft bij meetpunt 16. Vertrekkende toestellen passeren op grotere hoogte, waarbij de hoogte sterk afhankelijk is van het type toestel. Een uitzondering is de kleine, rood omcirkelde stip in de linker figuur, die een klein verschil weergeeft tussen het gemeten en berekende geluidniveau. Deze ligt op de hoogte die door landende vliegtuigen wordt aangehouden, maar hoort bij de start van zware, langzaam klimmende Boeing 747. De grootte van het verschil tussen het gemeten en berekende geluidniveau lijkt dus eerder samen te hangen met de vliegprocedure (start of landing) dan met de vlieghoogte.

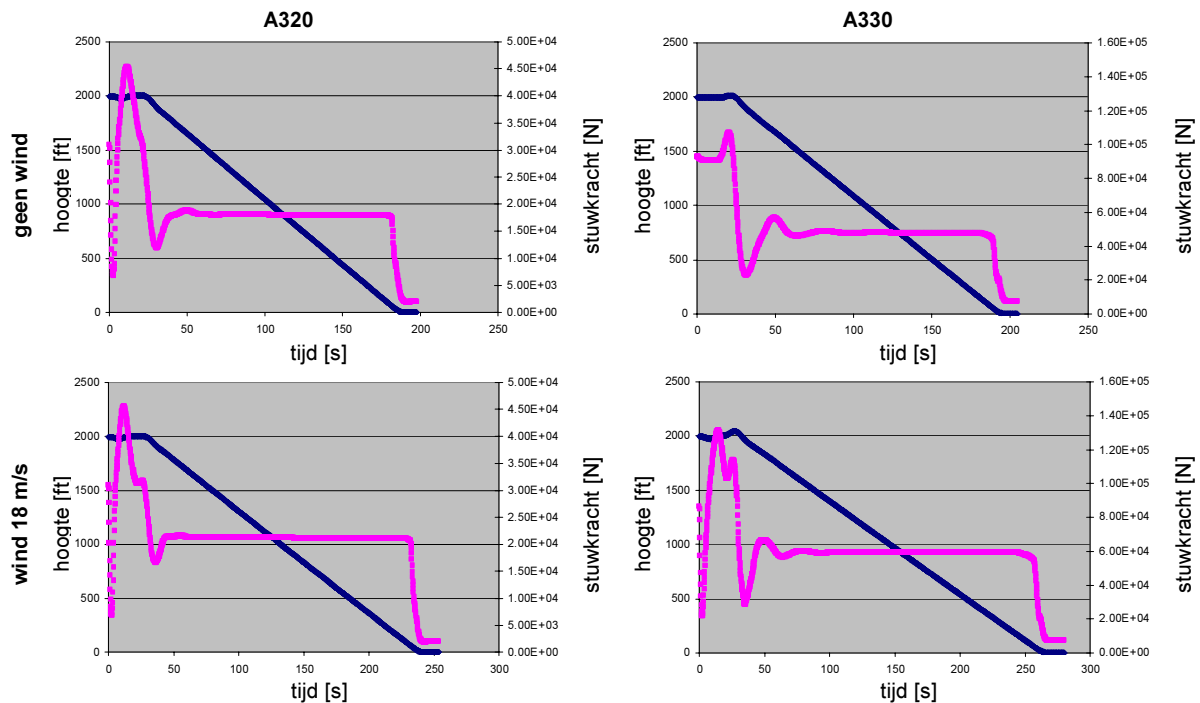
Voor landende vliegtuigen is er op korte afstand voor de landingsbaan nauwelijks een verschil tussen de werkelijke vlieghoogte en de hoogte in het rekenmodel. Bij startende vliegtuigen is dit verschil er wel. In figuur 4.15 zijn de starts nogmaals weergegeven in het verticale vlak loodrecht op het vliegp pad bij meetpost 12, maar nu is de vlieghoogte relatief weergegeven ten opzichte van de hoogte volgens het rekenmodel. Het verschil varieert van -500 tot +2000 ft. Ter vergelijking zijn rechts de startende vluchten van één dag langs meetpost 1 op dezelfde manier weergegeven, met een hoogteverschil tussen -2000 en +2000 ft. De grootte van elke stip correspondeert met de grootte (absolute waarde) van het verschil tussen het voor de betreffende vlucht gemeten en berekende geluidniveau L_{Amax} . Er blijkt voor startende vliegtuigen geen duidelijk verband te zijn tussen de afwijking van de gemodelleerde vlieghoogte en het verschil tussen het gemeten en berekende geluidniveau.

4.4.5 *Stuwkracht kort voor de landing*

De beschrijving van elke individuele vlucht in het rekenmodel met geluidtabellen en prestatieprofielen is altijd anders dan de werkelijkheid. Voor wat betreft de vlieghoogte is dit in de vorige paragraaf gebleken. Maar het verschil tussen de gemodelleerde en de werkelijke vlieghoogte geeft zeker geen volledige verklaring voor de soms grote (gemiddelde) afwijkingen tussen gemeten en berekende geluidniveaus van landende vliegtuigen.



Figuur 4.15: Posities van de passerende vliegtuigen ten opzichte van NOMOS-meetposten 12 (links) en 1 (rechts), in het verticale vlak loodrecht op het vliegp pad, waarbij verticaal per vlucht het hoogteverschil (in ft) is weergegeven tussen de werkelijke hoogte en de hoogte in het rekenmodel. Elke stip representeert één vlucht, waarbij de grootte van de stip correspondeert met de grootte van het verschil tussen het gemeten en berekende geluidniveau voor die vlucht.

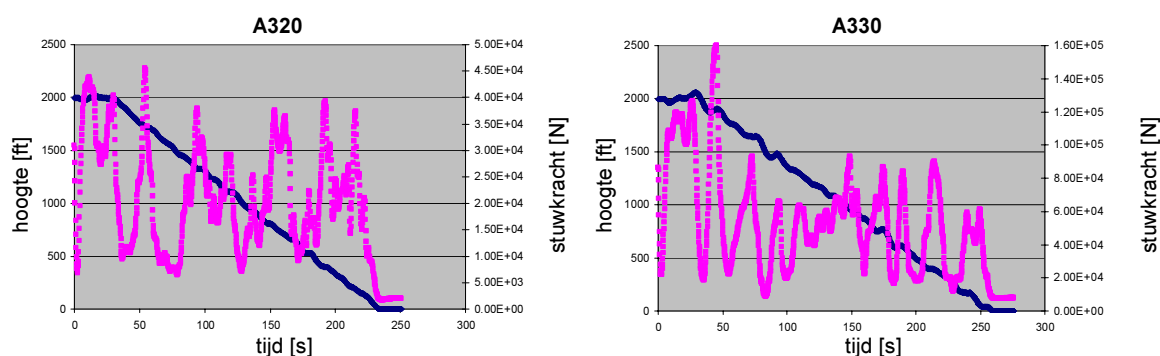


Figuur 4.16: Verloop van de stuwkracht en de hoogte in de vliegsimulator van NLR kort voor de landing bij twee typen vliegtuigen (A320 en A330) als functie van de tijd in de situatie zonder wind (boven) en een situatie met tegenwind van 18 m/s (onder), zonder turbulentie.

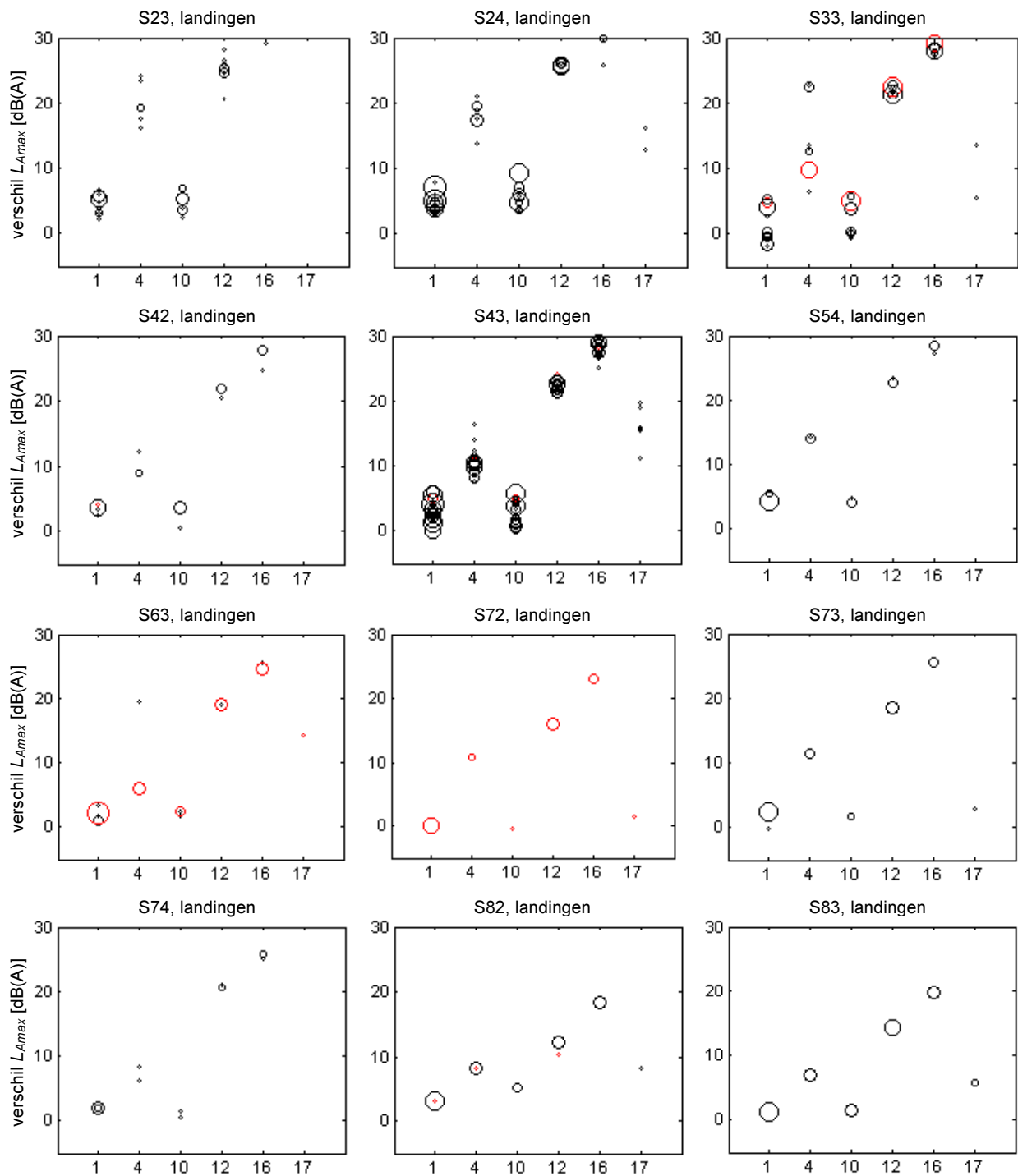
Het is goed mogelijk dat afwijkingen van de gemodelleerde stuwkracht hierbij een veel grotere rol spelen. Dit zou verder onderzocht moeten worden aan de hand van gegevens van vliegtuiginstellingen bij in het verleden uitgevoerde vluchten (uit de *Flight Data Recorders*), maar deze gegevens waren voor het onderzoek niet beschikbaar.

Om een indruk te krijgen van de invloed van variaties in stuwkracht die in de praktijk kunnen optreden, heeft het NLR enkele simulaties uitgevoerd met de vliegsimulator GRACE. De simulaties betreffen de situatie kort voor het landen, in het zogenoemde ILS-traject. De meeste vliegtuigen worden in dit traject automatisch naar de kop van de landingsbaan gestuurd, zonder dat de piloot daar invloed op hoeft uit te oefenen. In het experiment zijn twee vliegtuigtypen gebruikt, de A320 en A330 (beide Airbus-toestellen met twee motoren), waarvan de vliegtuigprestaties in de simulator reeds bekend en geverifieerd zijn. Tijdens de simulaties is de windsnelheid gevarieerd tussen 0 en 18 m/s; de windrichting is tegengesteld aan de vliegrichting. Figuur 4.16 toont bij deze twee uitersten hoe de stuwkracht verloopt als functie van de tijd tijdens het laatste stuk van de landing. Hierbij is aangenomen dat er geen turbulentie optreedt.

Turbulentie doet zich voor bij harde, veranderlijke wind of plaatselijke sterke temperatuurvariaties. Als gevolg van turbulentie ondergaat een vliegtuig soms heftige bewegingsveranderingen, die de besturing van het toestel zeker kort voor de landing moeilijk maakt. Het ene type vliegtuig is hiervoor gevoeliger dan het andere. Er moeten onder turbulente omstandigheden correcties worden uitgevoerd om het vliegtuig op het rechte pad te houden met een constante dalhoek van 3° . Bij de uitgevoerde simulaties blijkt dat de stuwkracht dan sterk varieert. In figuur 4.17 is de stuwkracht van de A320 regelmatig twee keer hoger dan de stuwkracht op hetzelfde traject zonder turbulentie.



Figuur 4.17: Verloop van de stuwkracht en de hoogte in de vliegsimulator van NLR kort voor de landing bij twee typen vliegtuigen (A320 en A330) als functie van de tijd in de situatie met tegenwind van 18 m/s en met maximale turbulentie.



*Figuur 4.18: Verschillen tussen gemeten geluidniveaus L_{Amax} door zes NOMOS-meetposten (1, 4, 10, 12, 16 en 17) en berekende geluidniveaus per vlucht voor **landingen**, gemiddeld per vliegtuigtype binnen een vliegtuigcategorie. Elke punt of cirkel representeert één vliegtuigtype, waarbij de grootte van de cirkel weergeeft over hoeveel metingen is gemiddeld. In rood is het representatieve vliegtuigtype van de categorie weergegeven.*

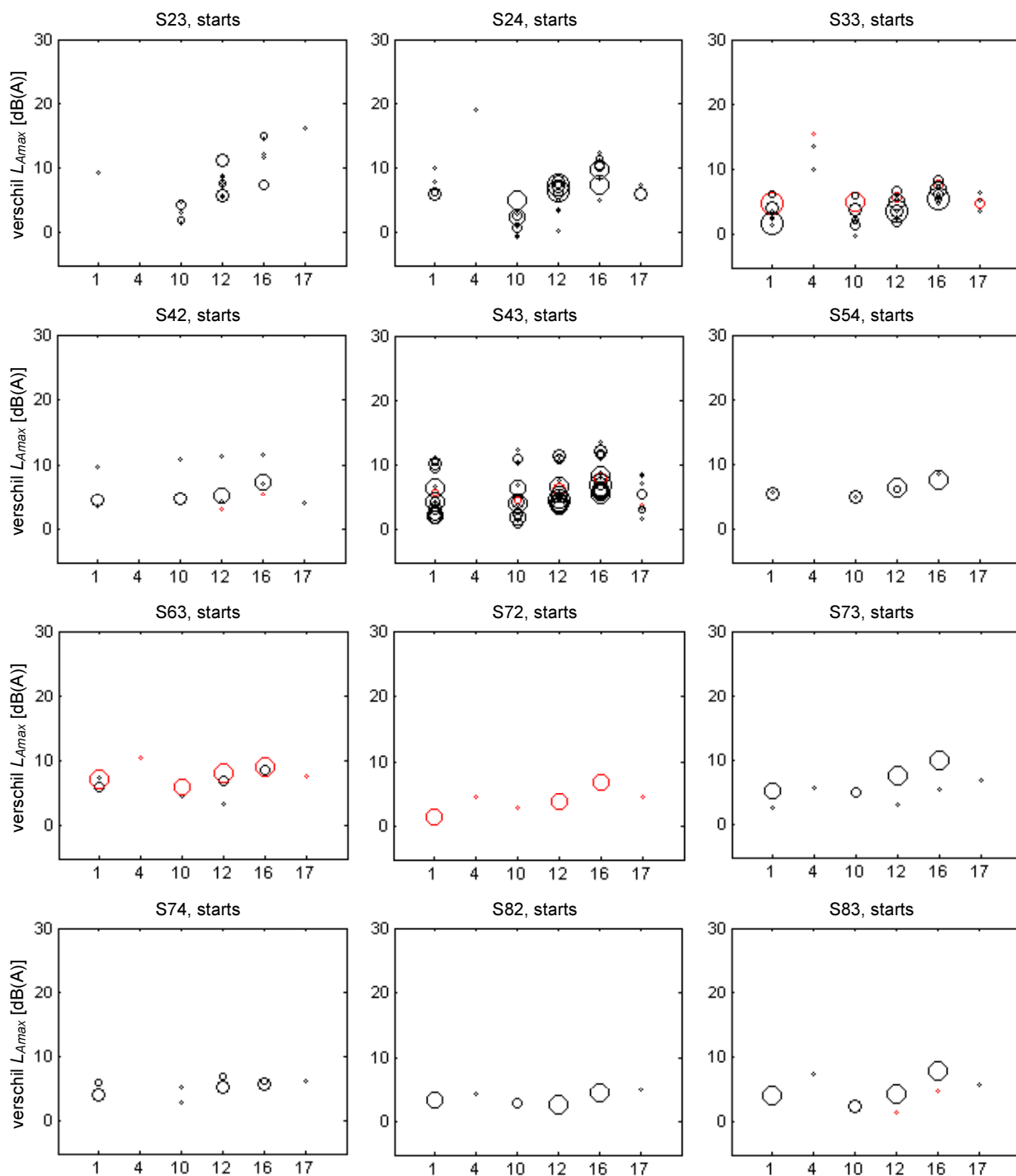
Het geluid dat het vliegtuig op de grond veroorzaakt is dan ten opzichte van de situatie zonder turbulentie naar schatting 7 dB(A) hoger voor de A330 en 10 dB(A) voor de A320.

4.5 Geluidtabellen en vliegtuigcategorieën

Het rekenmodel maakt gebruik van geluidgegevens van de representatieve vliegtuigtypen uit de categorieën. Deze gegevens worden afgeleid uit resultaten van metingen, die in het kader van de formele geluidcertificatie worden uitgevoerd. De indeling in vliegtuigcategorieën betekent dat de berekening voor een bepaald type vliegtuig niet altijd wordt uitgevoerd met de gegevens die op dat type betrekking hebben, maar met de gegevens van de akoestische representant van de categorie waartoe het behoort.

Bij de vergelijking tussen de door NOMOS gemeten geluidniveaus en de rekenuitkomsten op basis van FANOMOS is onderzocht of deze aanpak ertoe leidt dat de verschillen tussen meet- en rekenuitkomsten bij representatieve vliegtuigtypen kleiner zijn dan bij de overige vliegtuigtypen. Dit onderzoek is gericht op de vliegtuigcategorieën die voor Schiphol belangrijk zijn, dus die een relatief grote bijdrage leveren tot de geluidbelasting L_{den} rond de luchthaven. Uit bijlage C blijkt dat het ter plaatse van de meetpunten van NOMOS vooral gaat om de categorieën S23, S24, S33, S42, S43, S54, S63, S72, S73, S74, S82 en S83. Voor de vliegtuigtypen binnen deze categorieën is in de figuren 4.17 en 4.18 het gemiddelde verschil tussen gemeten en berekende geluidniveaus L_{Amax} weergegeven voor zes NOMOS-meteposten, de nummers 1, 4, 10, 12, 16 en 17. Er is onderscheid gemaakt tussen landingen (figuur 4.18) en starts (figuur 4.19) in het gebruiksjaar 2002.

Uit de figuren blijkt dat er zowel bij landingen als bij starts vooral een spreiding in de gemiddelde verschillen tussen meet- en rekenuitkomsten voorkomt binnen de categorieën S23, S24, S33, S42 en S43. Maar relatief ten opzichte van de grootte van de verschillen (per meetpost gezien) is de spreiding niet groot. Het is dus niet zo dat slechts enkele vliegtuigtypen verantwoordelijk zijn voor de geconstateerde verschillen tussen gemeten en berekende waarden. Ook blijkt uit de figuren niet dat de in rood weergegeven verschillen horende bij representatieve vliegtuigtypen in het algemeen kleiner zijn dan voor de overige vliegtuigtypen binnen de categorie.



Figuur 4.19: *Verschillen tussen gemeten geluidniveaus L_{Amax} door zes NOMOS-meetposten (1, 4, 10, 12, 16 en 17) en berekende geluidniveaus per vlucht voor **starts**, gemiddeld per vliegtuigtype binnen een vliegtuigcategorie. Elke punt of cirkel representeert één vliegtuigtype, waarbij de grootte van de cirkel weergeeft over hoeveel metingen is gemiddeld. In rood is het representatieve vliegtuigtype van de categorie weergegeven.*

4.6 Weersomstandigheden en laterale geluidverzwakking

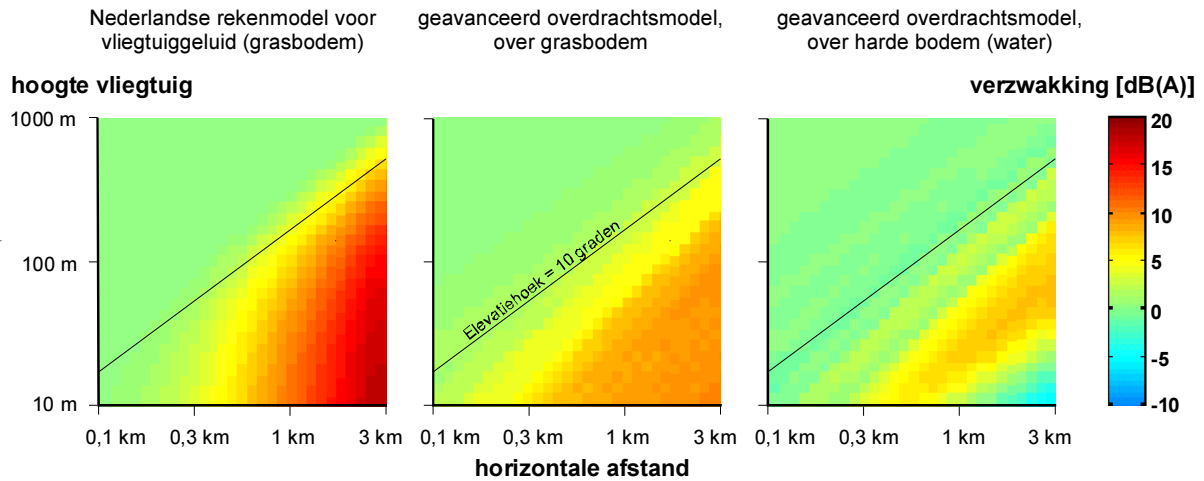
Weersomstandigheden beïnvloeden de geluidniveaus van vliegtuigpassages op twee manieren. De vliegprestaties (bijvoorbeeld de snelheid waarmee een vliegtuig na de start kan opstijgen) hangen af van de wind en de temperatuur en daarnaast hebben de verdeling van windsnelheid en temperatuur als functie van de hoogte in de atmosfeer invloed op de geluidoverdracht. De invloed van het weer op de geluidoverdracht is vooral sterk, wanneer vliegtuigen niet recht boven overkomen, maar vanuit het waarneempunt onder een kleine (elevatie-) hoek met het horizontale vlak worden gezien. Dit is het geval bij de NOMOS-meetposten 12 en 16 voor landende vliegtuigen en de gekozen meetlocaties in Rijssenhout en Haarlemmerliede.

Bij een kleine elevatiehoek gaan ook de akoestische eigenschappen van het bodemvlak tussen bron en waarneempunt een belangrijke rol spelen. Het rekenmodel kent slechts één type bodem (weiland met kort gras) en gaat uit van een gemiddelde weerssituatie. De invloed hiervan op de geluidoverdracht komt in het rekenmodel tot uitdrukking in de zogenoemde laterale geluidverzwakking.

In figuur 4.20 is links de geluidverzwakking in dB(A) als functie van de plaats van de geluidbron ten opzichte van het waarneempunt weergegeven, zoals in het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid wordt aangenomen. Rechts daarvan zijn resultaten weergegeven van berekeningen met een geavanceerd model¹⁸ voor geluidoverdracht in de buitenlucht, uitgaande van de ‘standaard’-grasbodem en uitgaande van een overwegend hard bodemoppervlak, zoals water. Met het geavanceerde model is de verzwakking eerst voor verschillende weerscondities afzonderlijk berekend en vervolgens is een gewogen middeling toegepast, waarbij weerscondities die jaarlijks vaker voorkomen zwaarder meetellen. Uit de vergelijking van de resultaten blijkt dat het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid de verzwakking overschat, die gemiddeld over jaarlijks voorkomende weersomstandigheden mag worden verwacht, met als gevolg dat de berekende geluidniveaus bij kleine elevatiehoeken te laag zijn. Bij een grasbodem met een afstand van 1 km tot het vliegtuig en een elevatiehoek van 10° bedraagt het verschil ongeveer 5 dB(A). In uitzonderlijke situaties waarbij een passerend vliegtuig dicht boven een groot wateroppervlak wordt gezien, kan het verschil oplopen tot 10 dB(A).

Bij de metingen in Rijssenhout was sprake van een grasbodem en werden vliegtuigen gezien onder elevatiehoeken van ongeveer 10° . Een overschatting van de geluidverzwakking in het rekenmodel zal hier een rol spelen bij de geconstateerde verschillen tussen de resultaten van metingen en berekeningen, maar kan niet het volledige verschil verklaren.

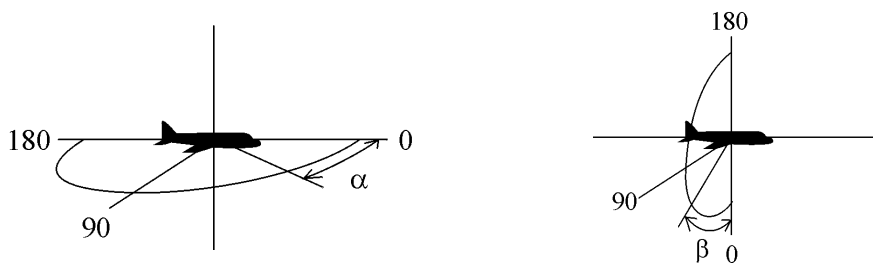
¹⁸ Het overdrachtsmodel is ontwikkeld door TNO voor de overdracht van vliegtuiggeluid over grote afstanden en is beschreven in TNO-rapport HAG-RPT-990153 van 8 december 1999.



Figuur 4.20: Invloed van bodem bij gemiddelde weerscondities volgens rekenmodellen.

4.7 Richtingsafhankelijke geluiduitstraling van vliegtuigen

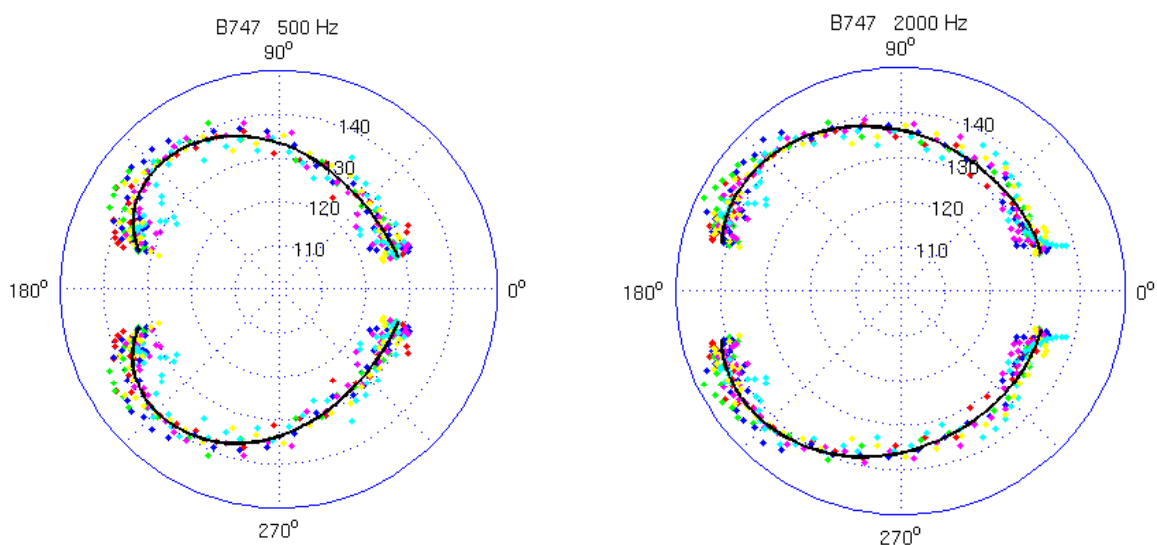
Het Nederlandse rekenmodel gaat (zoals de meeste rekenmodellen voor vliegtuiggeluid, waaronder ook het recenter ontwikkelde model INM uit de VS) uit van een bewegende geluidbron waarvan de geluidemissie onafhankelijk is van de richting¹⁹. In het algemeen varieert de geluidemissie met de hoeken α en β zoals aangegeven in figuur 4.21. De variatie met hoek α is het grootst.



Figuur 4.21: Hoeken α en β ten opzichte van de vliegrichting van een vliegtuig.

¹⁹ Voor kleine elevatiehoeken houdt het Nederlandse model voor een aantal vliegtuigtypen wel rekening met afscherming van motoren door de romp van het vliegtuig. Het effect hiervan is groter naarmate de elevatiehoek kleiner is en bedraagt 1,8 dB(A) bij een elevatiehoek van 10°.

Figuur 4.22 toont de geluidemissie van een Boeing 747 vlak voor de landing als functie van hoek α , vastgesteld op basis van door TNO uitgevoerde metingen op verschillende meetposities bij één vliegtuigpassage. Een straalmotor genereert aanzienlijk meer geluid in de richting schuin achterwaarts ($\alpha = 135^\circ$) dan in voorwaartse richting ($\alpha = 0^\circ$). Bovendien varieert de richtingsafhankelijkheid met de frequentie.



Figuur 4.22: Richtingsafhankelijke geluidemissie van een Boeing 747 vlak voor de landing als functie van hoek α (figuur 4.22) bij 500 Hz (links) en 2000 Hz (rechts). De figuren zijn afgeleid uit metingen op zes verschillende meetposities (weergegeven met verschillende kleuren) van één vliegtuigpassage waarbij voor elke meetpositie de richtingsafhankelijke geluidemissie is bepaald op basis van de over de tijd variërende hoek α gedurende de passage van het vliegtuig.

Een nauwkeurige beschrijving van het vliegtuig als geluidbron is gebaseerd op een frequentie- en richtingsafhankelijke geluidemissie. De eenvoudigere beschrijving in het Nederlandse rekenmodel werd destijds voldoende geacht voor het berekenen van het maximale geluidniveau per vliegtuigpassage, waarop de oude geluidbelasting in Kosteneenheden gebaseerd is, omdat het maximum in veel gevallen onder ongeveer dezelfde richting van de geluiduitstraling optreedt. Voor de geluidbelasting L_{den} moet het geluid van het vliegtuig gedurende de gehele vliegtuigpassage worden bepaald (inclusief het aanzwellen en wegsterven van het geluid) en dan speelt de richtingsafhankelijkheid een grotere rol.

Het in dit rapport op diverse plaatsen geconstateerde feit dat de verschillen tussen resultaten van metingen en berekeningen voor de maximale geluidsniveaus L_{Amax} groter zijn dan voor de geluidexpositieniveaus L_{AX} , is met de richtingsafhankelijkheid van de geluidbron te verklaren. De geluidtabellen van de rekenmethode zijn volgens de oorspronkelijke opzet van de methode bedoeld om de geluidsniveaus L_{Amax} per vliegtuigpassage te bepalen en moeten daarbij uitgaan van de maximale geluidemissie die feitelijk maar bij één uitstralingsrichting geldig is. Stel dat dit leidt tot de juiste waarde van L_{Amax} , dan levert deze manier van berekenen, waarbij de maximale geluiduitstraling voor alle richtingen wordt aangenomen, een te hoge uitkomst voor de waarde van L_{AX} . De neiging tot overschatting L_{AX} bij de rekenmethode compenseert dus een deel van het verschil dat tussen gemeten en berekende waarden L_{Amax} is geconstateerd.

(blanco)

(blanco)

5 Conclusies

De vergelijking tussen gemeten en berekend vliegtuiggeluid brengt grote verschillen naar voren. Op veel plaatsen rond Schiphol zijn de resultaten van meetsystemen hoger dan de uitkomsten van het Nederlandse rekenmodel voor vliegtuiggeluid, dat voor de handhaving van de geluidbelasting wordt gebruikt. Het gemiddelde verschil tussen op een dag gemeten geluidniveaus L_{Amax} van vliegtuigpassages en de corresponderende berekende niveaus kan meer dan 10 dB(A) bedragen. Ook voor de geluidexpositieniveaus L_{AX} (op basis waarvan de geluidbelasting L_{den} wordt bepaald) geldt dat de gemeten waarden vaak hoger zijn dan de berekende, maar de verschillen zijn voor L_{AX} kleiner dan voor L_{Amax} .

In het onderzoek is gewerkt met de resultaten van onbemande meetsystemen over een heel jaar en van gecontroleerde, onder toezicht uitgevoerde metingen op een beperkt aantal meetdagen. De grootste verschillen zijn gevonden tussen rekenuitkomsten en resultaten van het onbemande meetsysteem NOMOS van de luchthaven Schiphol. Er zijn aanwijzingen dat andere geluidbronnen dan vliegtuigen de meetresultaten van een deel van de NOMOS-metposten in belangrijke mate hebben beïnvloed. Op drie van de vijf locaties waar metingen onder voortdurend toezicht zijn uitgevoerd (en waarbij een significante invloed van stoorgeluid op de resultaten kan worden uitgesloten) zijn echter eveneens grote verschillen tussen meet- en rekenuitkomsten geconstateerd. Er zijn dus duidelijk meer factoren die een rol spelen bij de verschillen tussen gemeten en berekend vliegtuiggeluid.

Uit het onderzoek blijkt dat de afwijkingen tussen de berekende en de werkelijke geluidbelasting door vliegtuiggeluid op sommige plaatsen relatief klein zullen zijn, maar op andere plaatsen 5 tot 10 dB(A) kunnen bedragen. Voor transparantie en duidelijkheid naar omwonenden is dit ongewenst. Het probleem wordt niet eenvoudig opgelost door over te stappen op een ander rekenmodel (zoals INM). Verbeteringen van het huidige rekenmodel zullen wel bijdragen aan de oplossing. Het gaat dan vooral om de beschrijving van de geluidbron (het vliegtuig) met de vliegprocedures die in werkelijkheid worden uitgevoerd en de beschrijving van de geluidoverdracht in specifieke omstandigheden.

(blanco)

BIJLAGE A

BEPALING VAN DE GELUIDBELASTING UIT DE GELUIDNIVEAUS VAN VLIEGTUIGPASSAGES

Kostenindex

In Nederland is de kostenindex B , uitgedrukt in de kosteneenheid (Ke), een gangbare maat voor de geluidimmissie van vliegtuigen. De kostenindex, die alleen in Nederland werd gebruikt, is genoemd naar de voorzitter van de commissie die in de jaren zestig het verband onderzocht tussen vliegtuiggeluid en geluidhinder. Uit het onderzoek bleek dat op basis van de maximale A-gewogen geluidniveaus van vliegtuigpassages (L_{Amax}) een beoordelingsmaat kon worden gedefinieerd, die een correlatie vertoonde met de ondervonden hinder.

De kostenindex wordt bepaald uit alle gedurende een jaar optredende geluidniveaus L_{Amax} van vliegtuigpassages die hoger zijn dan 65 dB(A). Deze drempelwaarde is onafhankelijk van het tijdstip waarop het niveau optreedt en onafhankelijk van het achtergrondniveau op een bepaalde locatie¹. Om in rekening te brengen dat geluid 's avonds of 's nachts meer hinder geeft dan overdag, wordt het niveau van een vliegtuigpassage buiten de periode tussen 8:00 uur en 18:00 uur een aantal malen meegeteld². Dit aantal is afhankelijk van het tijdstip en wordt in onderstaande formule in de wegingsfactor n_i tot uitdrukking gebracht.

$$B = 20 \cdot \lg \sum_{i=1}^N \left[n_i 10^{\frac{L_{Amax,i}}{15}} \right] - 157$$

tijdstip passage i	n_i	tijdstip passage i	n_i
06:00-07:00	8	19:00-20:00	3
07:00-08:00	4	20:00-21:00	4
08:00-18:00	1	21:00-22:00	6
18:00-19:00	2	22:00-23:00	8
		23:00-06:00	10

Doordat alleen de maximale niveaus in de beoordeling meewegen, heeft de kostenindex een praktisch voordeel ten opzichte van geluidmaten op basis van over de tijd gemiddelde geluidniveaus, maar verschilt daarmee wezenlijk van

¹ De drempelwaarde is bij het opstellen van het Nederlandse rekenvoorschrift voor vliegtuiglawaai ingesteld uit praktische overwegingen. Bijdragen van vliegtuigpassages met een geluidniveau beneden de drempelwaarde leken destijds voor de hinder weinig relevant en het verwaarlozen ervan zorgde voor minder rekenwerk.

² Bepalend voor de wegings- of nachtstrafactor is het tijdstip van de start of landing en niet het tijdstip van L_{max} op de desbetreffende locatie.

de beoordelingsmaten die voor andere geluidbronnen worden toegepast. Bij wegverkeer, railverkeer en industrie wordt de geluidbelasting bepaald uit equivalente, dat wil zeggen over de tijd gemiddelde, geluidniveaus in verschillende perioden van een etmaal. De geluidbelasting L_{den} sluit hierbij aan.

Geluidbelasting L_{den}

Gezien de wens om de regelgeving in Europese landen met elkaar in overeenstemming te brengen, hebben de lidstaten van de EU ervoor gekozen om zoveel mogelijk dezelfde geluidbelastingsmaat te gebruiken voor het geluid van verschillende bronnen van omgevingslawaai, waaronder vliegtuigen. Dit is de maat L_{den} .

De geluidbelasting L_{den} ('den' staat voor *day, evening, night*) is gedefinieerd als het gewogen gemiddelde van de equivalente geluidniveaus, veroorzaakt door een bepaalde geluidbron, in de dag, avond en nachtperiode:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{dag}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{avond}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{nacht}+10}{10}} \right)$$

In de formule is uitgegaan van een dagperiode van 12 uur (07:00 - 19:00 uur), een avondperiode van 4 uur (19:00 - 23:00 uur) en een nachtperiode van 8 uur (23:00 - 07:00 uur). (De grenzen van de perioden kunnen per land verschillen.)

In plaats van bovenstaande formule kunnen we ook schrijven:

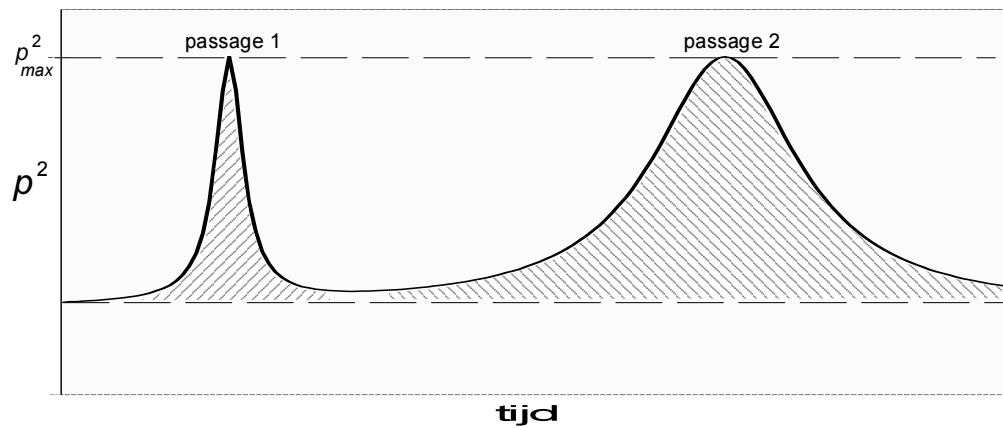
$$L_{den} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^{N_i} 10^{\frac{L_{Axdag,i}}{10}} + 3,16 \cdot \sum_{j=1}^{N_j} 10^{\frac{L_{Axavond,j}}{10}} + 10 \cdot \sum_{k=1}^{N_k} 10^{\frac{L_{Axavond,k}}{10}} \right) - 10 \cdot \lg T$$

De geluidbelasting L_{den} volgt dus uit de sommatie van A-gewogen geluid-expositieniveaus L_{AX} van afzonderlijke vliegtuigpassages,

$$L_{AX} = 10 \cdot \lg \int \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

($p(t)$ is de geluiddruk als functie van de tijd t , p_0 is de referentiedruk van 20 μ Pa), waarbij voor de geluidniveaus L_{AX} in deze sommatie weegfactoren gelden van 3,16 voor de avondperiode en 10 voor de nachtperiode. Een geluidniveau dat 's nachts optreedt telt dus 10 keer zo zwaar mee als hetzelfde niveau overdag. In de formule is T de totale tijdsduur (in seconden) over alle dag-, avond- en nachtperioden waarvan de vliegtuigpassages in de sommatie zijn meegenomen.

Het geluidexpositieniveau L_{AX} , ook wel aangeduid met SEL (sound exposure level), is het over de tijd t geïntegreerde kwadraat van de geluiddruk (p^2) tijdens een passage, en daarmee een maat voor het oppervlak onder de tijdfunctie $p^2(t)$ van een vliegtuigpassage. In onderstaande figuur is het maximum geluidniveau L_{Amax} van de twee vliegtuigpassages gelijk, maar is het niveau L_{AX} van de tweede passage groter, zodat deze zwaarder meetelt voor de geluidbelasting L_{den} .



BIJLAGE B

GELUIDMETINGEN CDV OP VIJF LOCATIES

In opdracht van de CDV heeft TNO op vijf locaties rond Schiphol het geluid van passerende vliegtuigen gemeten. De locaties liggen in Rijssenhout, Haarlemmerliede, Heemskerk, Spaarndam en Rijswijk (ZH). De coördinaten van de meetposities en de meetdagen zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

locatie	RD-coördinaten		meetdagen
Rijssenhout	108569	475417	26 januari 2005
Haarlemmerliede	107818	489392	10 november 2005
Heemskerk	105843	504949	26 en 27 mei 2005
Spaarndam	107784	491850	12 augustus 2005
Rijswijk	83479	449286	13, 14, 19 en 27 november 2005

De metingen zijn uitgevoerd met twee microfoons: één boven een harde plaat van 1,2 x 1,2 m² (met het membraan naar beneden gericht, op 5 mm van de plaat) en één op 1,5 m hoogte boven het bodemvlak bij de meetlocatie, zonder invloed van de harde plaat.

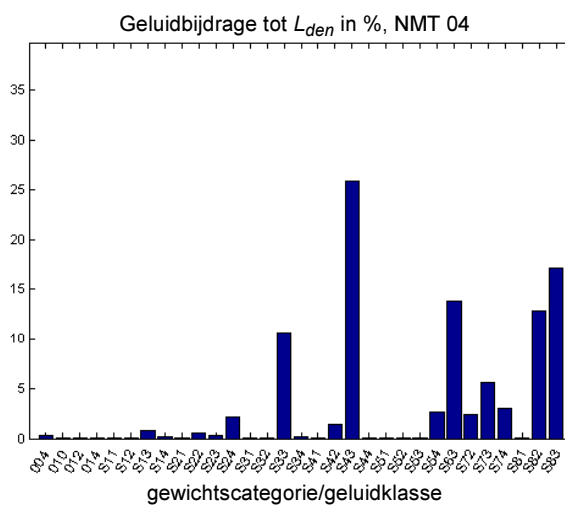
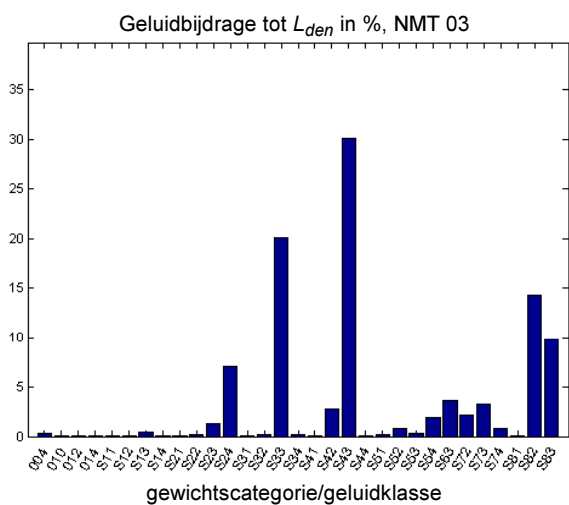
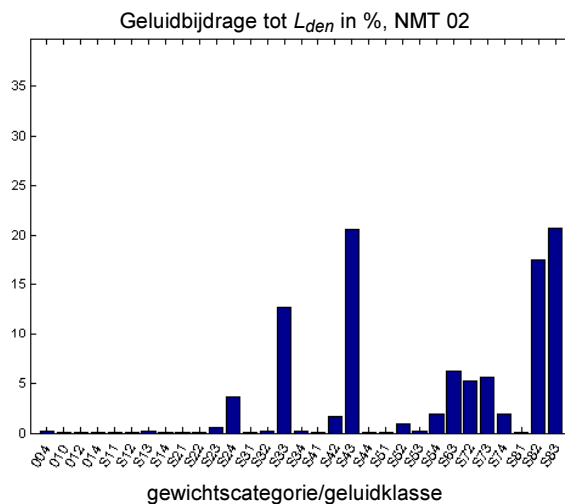
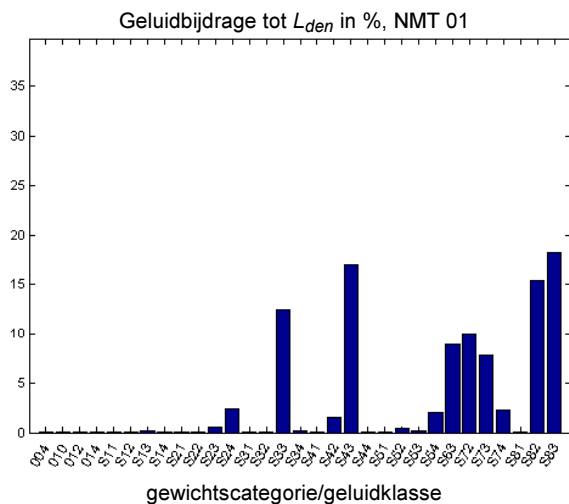
De tijdsignalen zijn opgenomen en geanalyseerd in 1/3-octaaftanden met A-weging. De exponentiële tijdweging *slow* is toegepast voor het bepalen van de geluidniveaus L_{Amax} .

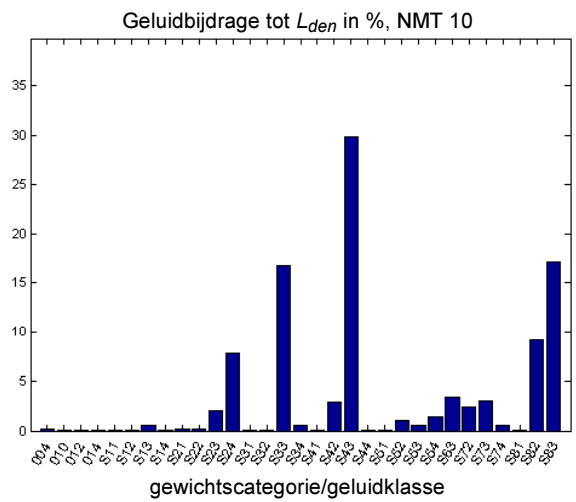
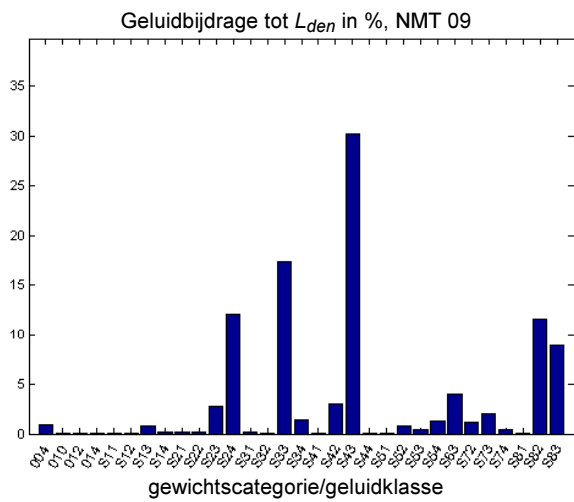
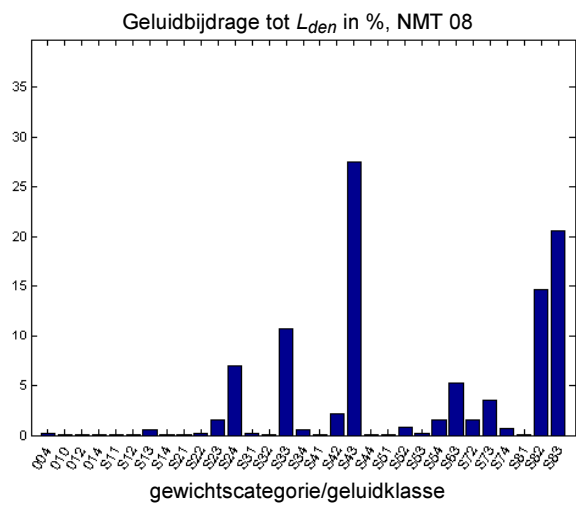
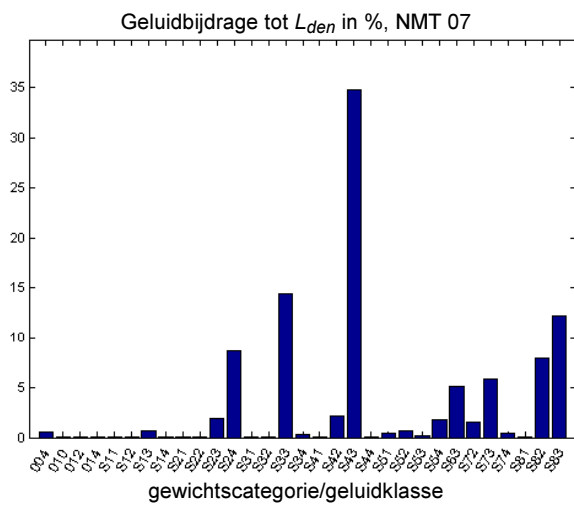
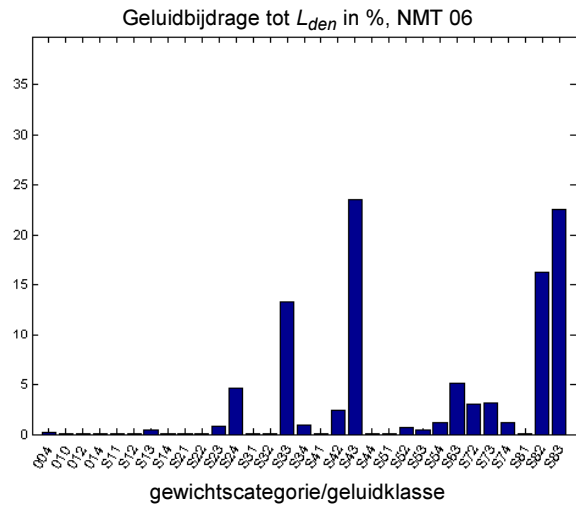
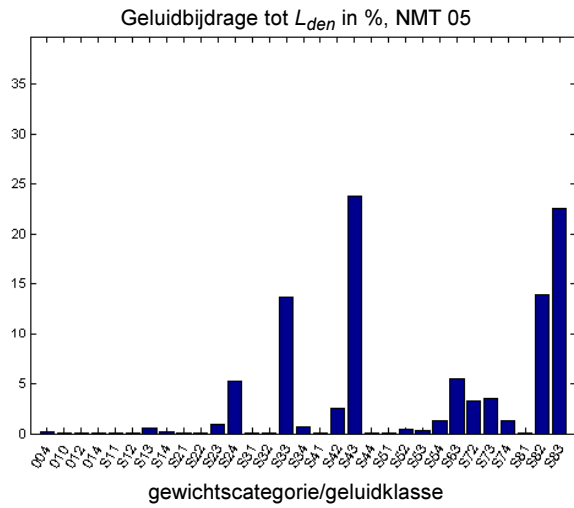
Het niveau van het achtergrondgeluid is gemeten over perioden van 90 s. Bij het bepalen van de geluidexpositieniveaus L_{AX} is het tijdsignaal gecorrigeerd voor het niveau van het achtergrondgeluid (in 1/3-octaaftanden), voor zover het metingen betreft waar het vliegtuiggeluid het totale geluid domineert. Metingen waarbij dit niet het geval is zijn buiten beschouwing gelaten. Per vliegtuigpassage is het geluidniveau L_{AX} bepaald over het tijdsignaal vanaf het moment dat het geluidniveau de waarde $L_{Amax}-10$ dB(A) overschrijdt, tot het moment dat het geluidniveau weer onder deze waarde komt.

BIJLAGE C

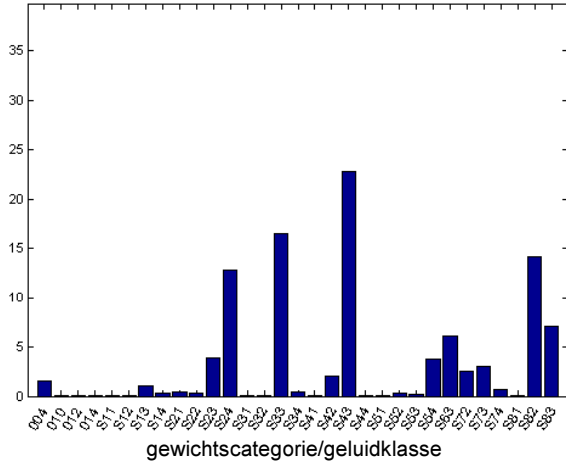
BIJDRAGEN VAN VLIEGTUIGCATEGORIEËN TOT DE GELUIDBELASTING L_{den} BIJ DE NOMOS-MEETPUNTEN

In de volgende figuren is per vliegtuigcategorie de relatieve bijdrage weer-gegeven tot de geluidbelasting L_{den} in het gebruiksjaar 2002, voor 20 punten die samenvallen met de meetpunten van het NOMOS-meetsysteem rond Schiphol. De bijdragen zijn bepaald uit de *berekende* geluidniveaus L_{AX} van alle afzonderlijke vluchten in het gebruiksjaar.

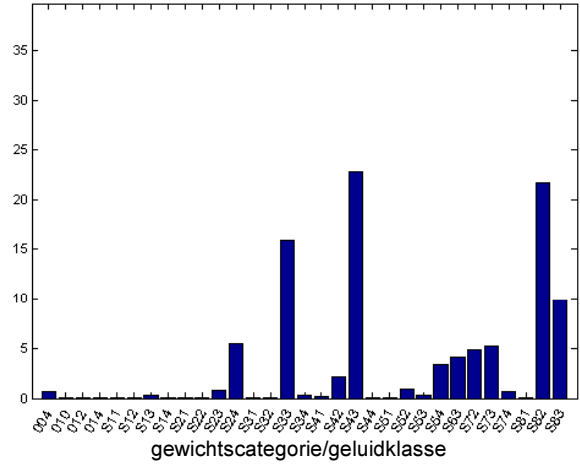




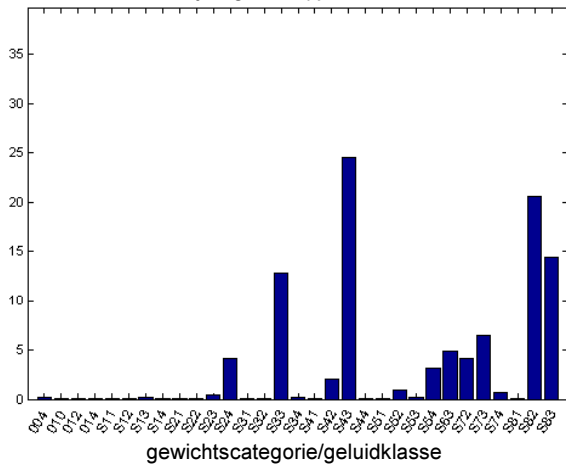
Geluidbijdrage tot L_{den} in %, NMT 11



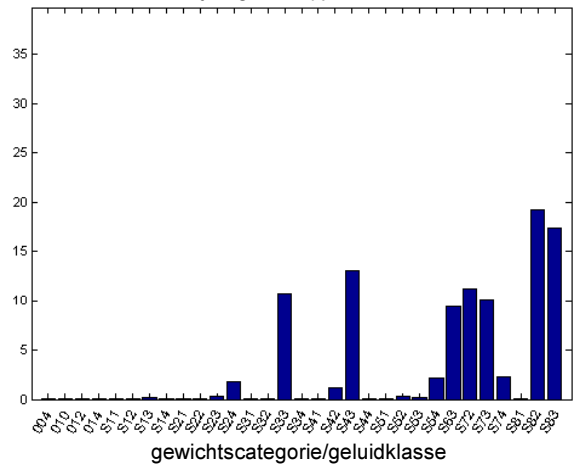
Geluidbijdrage tot L_{den} in %, NMT 12



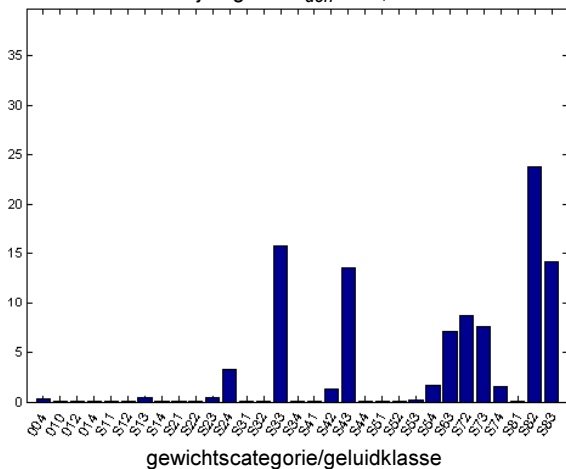
Geluidbijdrage tot L_{den} in %, NMT 13



Geluidbijdrage tot L_{den} in %, NMT 14



Geluidbijdrage tot L_{den} in %, NMT 15



Geluidbijdrage tot L_{den} in %, NMT 16

